CLIMATE CHANGE
24/2022

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022

Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2020

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

CLIMATE CHANGE 24/2022

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022

Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2020

Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission

Impressum

Herausgeber
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Abschlussdatum:
April 2022

Redaktion:
Fachgebiet V 1.6 Emissionssituation
Dirk Günther, Patrick Gniffke

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2022

In Erinnerung an:

Michael Strogies

(1956 -2022)

Vater der deutschen Emissionsberichterstattung

Fachgebietsleiter, Kollege und guter Freund

Kontakt

Dieser Bericht entstand im Rahmen der Arbeiten der Nationalen Koordinierungsstelle für das *Nationale System Emissionsinventare* (NaSE) am Umweltbundesamt (UBA). Die Beiträge zu den Kapiteln Landwirtschaft bzw. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft wurden vom Thünen-Institut (TI) erarbeitet.

Die elektronische Fassung dieses Berichts sowie die entsprechenden zugehörigen Emissionsdaten im Common Reporting Format (CRF) (Version 0.93 auf Basis der Datenbank ZSE mit Stand Trendtabellen vom 12.01.2022) sind nach Abschluss auf der Internetseite des Umweltbundesamtes bereitgestellt:
http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen

Federführung Gesamtbericht: Dirk Günther, Patrick Gniffke (UBA V 1.6)

Kapitelverantwortliche:

Teil I: Jährliche Inventarlieferung:

Kapitel 1.1	Dirk Günther (UBA V 1.6); Thomas Voigt (UBA V 1.1)
Kapitel 1.2.1 & 1.2.2	Dirk Günther (UBA V 1.6)
Kapitel 1.3.2, 1.3.3, 1.6 tw.	Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Kapitel 1.3.3.1.8, 1.6.2	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 1.3.2.4, 2, 3.2.1, 3.2.3&5, 3.2.13	Dirk Günther (UBA V 1.6)
Kapitel 1.4	Dirk Günther (UBA V 1.6) und die Fachlichen Ansprechpartner (FAP)
Kapitel 1.5	David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 1.7., 1.8	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2	Petra Icha. Jens Langenfeld (UBA V 1.5), Marion Dreher (UBA V 1.5), Kristina Juhrich (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.2.2	Sabine Gores (Öko-Institut Berlin), Michael Kotzulla (UBA V 1.6), Frank Wetzel (UBA I 2.2)
Kapitel 3.2.2.3	Katharina Koppe (UBA I 2.2), Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.4	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.6 – 3.2.8, 3.2.9.7.2	Petra Icha, Jens Langenfeld (UBA V 1.5), Rolf Beckers (UBA III 2.1), Kristina Juhrich (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.9.1	Petra Icha (UBA V 1.5), Sebastian Plickert (UBA III 2.2)
Kapitel 3.2.9.2 - 3.2.9.3, 3.2.9.5, 3.2.9.7 - 3.2.9.11	Petra Icha (UBA V 1.5)
Kapitel 3.2.9.4	Petra Icha (UBA V 1.5), Almut Reichart (UBA III 2.1)
Kapitel 3.2.10.1	Sabine Gores (Öko-Institut Berlin), Michael Kotzulla (UBA V 1.6), Frank Wetzel (UBA I 2.2)
Kapitel 3.2.10.2 - 3.2.10.4	Gunnar Gohlisch (UBA I 2.2), Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.10.5	Kristina Juhrich (UBA V 1.6); Christian Böttcher (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.11 + 3.2.13	Christian Liesegang (UBA III 2.1), Detlef Drosihn (UBA V 1.5)
Kapitel 3.2.12 + 3.2.14	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.3.1	Christian Böttcher (UBA V 1.6);
Kapitel 3.3.2	Christian Böttcher (UBA V.1.6), Christopher Proske (UBA III 2.1), Karen Pannier (UBA III 2.1); Andreas Bertram (UBA V 1.3); Charlotte Grosse (DBI GuT)
Kapitel 4.2.1 - 4.2.2	Maja Bernicke (UBA III 2.2)
Kapitel 4.2.3	Sandra Leuthold (UBA III 2.2)
Kapitel 4.2.4.1	Til Bolland (UBA III 2.2)
Kapitel 4.2.4.2 - 4.2.4.4	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 4.3.1 & 4.3.2	Anna Koska (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.3	Jens Reichel (UBA V 1.6), Traute Fiedler (UBA III 2.1)

Kapitel 4.3.4	Jens Reichel (UBA V 1.6), Traute Fiedler (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.5 - 4.3.6	Anna Koska (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.7	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 4.3.8 & 4.3.10	Jens Reichel (UBA V 1.6) , Traute Fiedler (UBA III 2.1), Christian Böttcher (V.1.6)
Kapitel 4.3.9	Cornelia Elsner (UBA III 1.4)
Kapitel 4.4.1	Sebastian Plickert (UBA III 2.2)
Kapitel 4.4.2	Christian Lehmann (UBA III 2.2)
Kapitel 4.4.3	Christian Lehmann (UBA III 2.2), Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4)
Kapitel 4.4.4	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.1 & 4.5.2	Jens Reichel (UBA V 1.6), Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.3	Folke Dettling, Conrad Dorer (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.4 & 5	Robert Kludt (UBA V 1.6
Kapitel 4.5.6	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 4.6	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.7	Kerstin Martens (UBA III 1.4), Cornelia Elsner (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.8.1, 4.8.2 & 4.8.4	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.8.5	Jens Reichel (UBA V 1.6)
Kapitel 4.9.3	Kerstin Martens (UBA III 1.4), Cornelia Elsner (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 5	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI AK): Cora Vos, Claus Rösemann, Roland Fuß; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.1	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Andreas Gensior, Roland Fuß, Karsten Dunger, Wolfgang Stümer; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.2 bis 6.3	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Andreas Gensior, Roland Fuß, Andreas Laggner, Birgit Laggner, Wolfgang Stümer, Sascha Adam, Karsten Dunger; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.4	Johann Heinrich von Thünen-Institut für Waldökosysteme (TI-WO): Wolfgang Stümer, Karsten Dunger, Thomas Riedel, Daniel Ziche, Erik Grüneberg, Nicole Wellbrock, Katja Oehmichen, Sascha Adam; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.5 bis 6.9 und 6.11	Johann Heinrich von Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (TI-AK): Andreas Gensior, Roland Fuß, Andreas Laggner; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.10	Johann Heinrich von Thünen-Institut für Holzforschung (TI-HF): Sebastian Rüter
Kapitel 7.2	Wolfgang Butz (UBA III 2.4)
Kapitel 7.3	Tim Hermann (UBA III 2.4)
Kapitel 7.4.1	Sue-Martina Starke (UBA III 2.4)
Kapitel 7.4.2	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 7.5.1	Kai Kessler (UBA III 2.5), Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Kapitel 7.5.2	Ulrich Gromke (UBA III 2.1)
Kapitel 7.6.1	Wolfgang Butz (UBA III 2.4)
Kapitel 9	Dirk Günther (UBA V 1.6)

Kapitel 10	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Teil II: Ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert:	
Kapitel 11	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Wolfgang Stümer, Andreas Gensior, Andreas Laggner, Roland Fuß, Sebastian Rüter, Karsten Dunger, Johanna Steuk; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 11.7, 12, 14	Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt):
Kapitel 13	Dirk Günther (UBA V 1.6)
Kapitel 14	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Referat KI 1.1
Anhänge:	
Anhang 1	David Kuntze (UBA V 1.6)
Anhang 2	Marion Dreher (UBA V 1.5),
Anhang 2, Kapitel 18.8	Kristina Juhrich (UBA V 1.6), Christian Böttcher (UBA V 1.6)
Anhang 2, 18.9	Jens Reichel (UBA V 1.6)
Anhang 3	Autoren entsprechend der fachlichen Zuständigkeit in Kapitel 3-15
Anhang 3, Kapitel 19.1.1	Marcus Machat (UBA E 1.1), Frank Zander (Institut für Energetik und Umwelt: IE gGmbH), Dr. Dieter Merten (IE gGmbH)
Anhang 3, Kapitel 19.1.3	Michael Kotzulla (V 1.6)
Anhang 3, Kapitel 19.3	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Cora Vos, Claus Rösemann, Roland Fuß
Anhang 4	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Anhang 5	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Anhang 6	Dirk Günther (UBA V 1.6), Autoren entsprechend der fachlichen Zuständigkeit
Anhang 6, Kapitel 22.1.2	Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 22.1.3	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 22.4	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Anhang 7	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 34
Tabellenverzeichnis 38
Abkürzungsverzeichnis 58
Einheiten und Größen 64
Erklärung der Einleitenden Informationstabellen 65

0 Zusammenfassung (ES) 66
0.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel (ES.1) 68
0.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel (ES1.1) 68
0.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren (ES1.2) 68
0.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (ES.1.3) 68
0.2 Zusammengefasste Emissionen von Treibhausgasen sowie deren Einbindung in Senken und Emissionen und Einbindungen aus KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2) 69
0.2.1 Treibhausgas-Inventar (ES.2.1) 69
0.2.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2.2) 72
0.3 Zusammengefasste Emissionsschätzungen und Trends der Quell- und Senkengruppen, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3) 72
0.3.1 Treibhausgas-Inventar (ES.3.1) 72
0.3.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3.2) 74

1 Einleitung 75
1.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren, Klimawandel und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert 75
1.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel 75
1.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren 77
1.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (KP NIR 1.1.3.) 78
1.2 Beschreibung der Institutionalisierung der Inventarerstellung, inklusive der rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Planung, Erstellung und Management des Inventars 79
1.2.1 Übersicht über die institutionellen, rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Erstellung der Treibhausgas-Inventare und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert 79
1.2.1.1 Der Nationale Koordinierungsausschuss 80
1.2.1.2 Koordinierungsstelle des Nationalen Systems 81
1.2.1.3 Arbeitskreis Emissionsinventare im Umweltbundsamt 82
1.2.1.4 Zusammenarbeit der Nationalen Koordinierungsstelle mit anderen Bundesinstitutionen und Nichtregierungsorganisationen im Rahmen des Nationalen Systems 82
1.2.1.5 Verbindlicher Terminplan im Rahmen des Nationalen Systems 85
1.2.2 Übersicht über die Inventarplanung 86
1.2.3 Übersicht der Inventarerstellung und –management, inklusive der ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert 86
1.3 Inventarerstellung 87
1.3.1 Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventar 88
1.3.1.1 Vorgelagerte Abläufe 88
1.3.1.1.1 Verbesserung des Nationalen Systems 88
1.3.1.1.2 Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung 88
1.3.1.1.3 Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Tier 1-Verfahren) 89
1.3.1.1.4 Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen 89
1.3.1.1.5 Erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien 90
1.3.2 Sammlung, Verarbeitung und Speicherung der Daten, inklusive KP-LULUCF-Inventare 90
1.3.2.1 Festlegung der Berechnungsgrundlagen 90
1.3.2.2 Datengewinnung 91
1.3.2.3 Datenaufbereitung und Emissionsberechnung 91
1.3.2.4 Berichterstellung 92
1.3.3 Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung (QK/QS) und ausführliche Überprüfung der Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventare 95
1.3.3.1 Das Qualitätssystem Emissionsinventare 95

1.3.3.1.1 Hausanordnung 11/2005 des UBA 95
1.3.3.1.2 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung 95
1.3.3.1.3 Aufbauorganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare 96
1.3.3.1.4 Ablauforganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare 98
1.3.3.1.5 Durchführung von QK/QS-Maßnahmen sowie deren Steuerung und Dokumentation im Qualitätssystem Emissionsinventare 98
1.3.3.1.6 Das QSE-Handbuch 101
1.3.3.1.7 Unterstützung UNFCCC-Review 101
1.3.3.1.8 Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Verbesserung der THG-Emissionsinventare 101
1.4 Kurze, allgemeine Beschreibung der angewandten Methodik und Datenquellen 103
1.4.1 Treibhausgas-Inventar 103
1.4.1.1 Datenquellen 103
1.4.1.1.1 Energie 103
1.4.1.1.2 Industrieprozesse 105
1.4.1.1.3 Landwirtschaft 108
1.4.1.1.4 Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft 109
1.4.1.1.5 Abfall und Abwasser 110
1.4.1.2 Methoden 111
1.4.2 KP-LULUCF-Aktivitäten 112
1.5 Kurzbeschreibung der Hauptkategorien 112
1.5.1 Treibhausgas-Inventar (mit und ohne LULUCF) 112
1.5.2 Inventar einschließlich der KP-LULUCF Berichterstattung 113
1.6 Informationen zum Qualitätssicherungs- und –kontrollplan sowie zum Inventarplan inklusive Verifizierung und zum Umgang mit vertraulichen Informationen 118
1.6.1 Prozeduren zu Qualitätssicherung- und –kontrolle 118
1.6.1.1 QK/QS-Plan 118
1.6.1.2 QK/QS-Checklisten 118
1.6.1.3 Inventarplan 119
1.6.1.4 Audit 123
1.6.1.5 Workshops zum Nationalen System (Peer Review) 125
1.6.1.6 Ländervergleich zu fluorierten Gasen (Cross-Country-Review) 125
1.6.2 Aktivitäten zur Verifizierung 126
1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien 126
1.6.2.2 Verifikation des nationalen Inventars mit Hilfe unabhängiger Daten 126
1.6.2.3 Verfahren zur Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels 127
1.6.2.4 Verifikation des nationalen Inventars mit Hilfe unabhängiger Daten 128
1.6.3 Umgang mit vertraulichen Informationen 129
1.7 Generelle Unsicherheitenschätzung 130
1.7.1 Treibhausgas-Inventar 130
1.7.1.1 Vorgehen zur Unsicherheitsbestimmung 130
1.7.1.2 Ergebnisse der Unsicherheitenschätzung 132
1.7.2 KP-LULUCF-Inventar 133
1.8 Generelle Prüfung der Vollständigkeit 133
1.8.1 Treibhausgas-Inventar 133
1.8.2 KP-LULUCF-Inventar 134

2 Trends der Treibhausgase 135
2.1 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für aggregierte Treibhausgasemissionen 137
2.2 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Treibhausgasen 138
2.2.1 Kohlendioxid (CO_2) 138
2.2.2 Lachgas (N_2O) 139
2.2.3 Methan (CH_4) 139
2.2.4 F-Gase 140
2.3 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Kategorien 140
2.4 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für indirekte Treibhausgase und SO_2 142
2.5 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für das KP-LULUCF-Inventar, für aggregierte Emissionen, nach Aktivität und Treibhausgas 144

3 Energie (CRF Sektor 1) 146
3.1 Übersicht (CRF Sektor 1) 146
3.2 Verbrennung von Brennstoffen (1.A) 146
3.2.1 Verifikation des sektoralen Ansatzes zu CRF 1.A 151
3.2.1.1 Vergleich mit dem CO_2-Referenzverfahren 151
3.2.1.2 Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren Datensätzen 151
3.2.1.2.1 Vergleich mit den IEA-Ergebnissen 154
3.2.1.2.2 Vergleich mit den für die einzelnen Bundesländer ermittelten Daten 155
3.2.1.2.3 Geplante Verbesserungen 159
3.2.2 Internationale Bunkerbrennstoffe 159
3.2.2.1 Emissionen aus dem internationalen Verkehr (1.D.1.a/1.D.1.b) 159
3.2.2.2 Emissionen aus dem internationalen Flugverkehr (1.D.1.a) 159
3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.a) 159
3.2.2.2.2 Methodische Aspekte (1.D.1.a) 160
3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.a) 160
3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.a) 161
3.2.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.D.1.a) 161
3.2.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.a) 162
3.2.2.3 Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr/ Marine (1.D.1.b) 162
3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.b) 162
3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.D.1.b) 163
3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.b) 164
3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.b) 164
3.2.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnung (1.D.1.b) 164
3.2.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.b) 165
3.2.3 Lagerhaltung 165
3.2.4 CO_2-Abscheidung von Abgasen und nachfolgende Speicherung (CCS) (CRF 1.C) 166
3.2.5 Landesspezifische Besonderheiten 166
3.2.6 Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a) 166
3.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.a) 166
3.2.6.2 Methodische Aspekte (1.A.1.a) 169
3.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.a) 173
3.2.6.3.1 Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren 173
3.2.6.3.2 Ergebnis für N_2O 174
3.2.6.3.3 Ergebnis für CH_4 174
3.2.6.3.4 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren 174
3.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.a) 175
3.2.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.a) 175
3.2.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.a) 175
3.2.7 Mineralölraffinerien (1.A.1.b) 176
3.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.b) 176
3.2.7.2 Methodische Aspekte (1.A.1.b) 178
3.2.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.b) 179
3.2.7.3.1 Ergebnis für N_2O 179
3.2.7.3.2 Ergebnis für CH_4 179
3.2.7.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren 179
3.2.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.b) 179
3.2.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.b) 179
3.2.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.b) 179
3.2.8 Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (1.A.1.c) 180
3.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.c) 180
3.2.8.2 Methodische Aspekte (1.A.1.c) 182
3.2.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.c) 184
3.2.8.3.1 Ergebnis für N_2O 184
3.2.8.3.2 Ergebnis für CH_4 184
3.2.8.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren 184
3.2.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.c) 184
3.2.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.c) 184
3.2.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.c) 184
3.2.9 Verarbeitendes Gewerbe (1. A.2) 185
3.2.9.1 Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a) 186
3.2.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.a) 187
3.2.9.1.2 Methodische Aspekte (1.A.2.a) 188

3.2.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a) 189
3.2.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.a) 189
3.2.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.a) 189
3.2.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.a) 190
3.2.9.2 Verarbeitendes Gewerbe – Nichteisen-Metalle (1.A.2.b) 190
3.2.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.b) 190
3.2.9.2.2 Methodische Aspekte (1.A.2.b) 190
3.2.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.b) 190
3.2.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.b) 191
3.2.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.b) 191
3.2.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.b) 191
3.2.9.3 Verarbeitendes Gewerbe – Chemische Industrie (1.A.2.c) 191
3.2.9.4 Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff und Papierindustrie (1.A.2.d) 192
3.2.9.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.d) 192
3.2.9.4.2 Methodische Aspekte (1.A.2.d) 192
3.2.9.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d) 193
3.2.9.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.d) 193
3.2.9.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.d) 193
3.2.9.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.d) 193
3.2.9.5 Verarbeitendes Gewerbe – Zuckerherstellung (1.A.2.e) 194
3.2.9.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.e) 194
3.2.9.5.2 Methodische Aspekte (1.A.2.e) 194
3.2.9.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.e) 194
3.2.9.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.e) 194
3.2.9.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.e) 195
3.2.9.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.e) 195
3.2.9.6 Verarbeitendes Gewerbe – Mineralische Industrie (1.A.2.f) 195
3.2.9.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 196
3.2.9.6.1 Methodische Aspekte (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 196
3.2.9.6.2 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 197
3.2.9.6.3 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 197
3.2.9.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Mineralische Industrie) 198
3.2.9.6.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 198
3.2.9.7 Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 198
3.2.9.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 198
3.2.9.7.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 200
3.2.9.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 201
3.2.9.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 201
3.2.9.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 202
3.2.9.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 202
3.2.9.8 Bauwirtschaftlicher Verkehr (1.A.2.g vii) 202
3.2.9.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g vii) 202
3.2.9.8.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g vii) 202
3.2.9.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g vii) 204
3.2.9.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g vii) 204
3.2.9.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g vii) 205
3.2.9.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g vii) 206
3.2.10 Transport (1.A.3) 207
3.2.10.1 Transport - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a) 207
3.2.10.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.a) 207
3.2.10.1.2 Methodische Aspekte (1.A.3.a) 208
3.2.10.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.a) 210
3.2.10.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.a) 210
3.2.10.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.a) 211
3.2.10.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.a) 213
3.2.10.2 Transport - Straßenverkehr (1.A.3.b) 213
3.2.10.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.b) 213
3.2.10.2.2 Methodische Aspekte (1.A.3.b) 213
3.2.10.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.b) 217
3.2.10.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.b) 217
3.2.10.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.b) 218

3.2.10.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.b) 219
3.2.10.3 Transport - Schienenverkehr (1.A.3.c) 220
3.2.10.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.c) 220
3.2.10.3.2 Methodische Aspekte (1.A.3.c) 221
3.2.10.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.c) 222
3.2.10.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.c) 222
3.2.10.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.c) 223
3.2.10.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.c) 225
3.2.10.4 Transport - Schiffsverkehr (1.A.3.d) 225
3.2.10.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.d) 225
3.2.10.4.2 Methodische Aspekte (1.A.3.d) 226
3.2.10.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.d) 228
3.2.10.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.d) 229
3.2.10.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.d) 229
3.2.10.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.d) 232
3.2.10.5 Transport - Übriger Verkehr (1.A.3.e) 232
3.2.10.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.e) 232
3.2.10.5.2 Methodische Aspekte (1.A.3.e) 232
3.2.10.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.e) 233
3.2.10.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.e) 233
3.2.10.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.e) 233
3.2.10.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.e) 233
3.2.11 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirstschaft und Fischerei (1.A.4 stationär) 234
3.2.11.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 stationär) 234
3.2.11.2 Methodische Aspekte (1.A.4 stationär) 237
3.2.11.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 stationär) 239
3.2.11.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 stationär) 240
3.2.11.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 stationär) 241
3.2.11.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 stationär) 241
3.2.12 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 mobil) 241
3.2.12.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 mobil) 241
3.2.12.2 Methodische Aspekte (1.A.4 mobil) 242
3.2.12.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 mobil) 244
3.2.12.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 mobil) 244
3.2.12.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 mobil) 245
3.2.12.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 mobil) 247
3.2.13 Andere Bereiche (1.A.5.a stationär) 248
3.2.13.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.a stationär) 248
3.2.13.2 Methodische Aspekte (1.A.5.a stationär) 248
3.2.13.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.a stationär) 249
3.2.13.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.a stationär) 249
3.2.13.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.a stationär) 249
3.2.13.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.a stationär) 250
3.2.14 Andere Bereiche (1.A.5.b mobil) 250
3.2.14.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.b mobil) 250
3.2.14.2 Methodische Aspekte (1.A.5.b mobil) 250
3.2.14.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.b mobil) 252
3.2.14.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.b mobil) 252
3.2.14.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.b mobil) 253
3.2.14.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.b mobil) 254
3.2.15 Militär 254
3.3 Diffuse Emissionen aus Brennstoffen (1.B) 254
3.3.1 Feste Brennstoffe - Kohlenbergbau und -umwandlung (1.B.1) 255
3.3.1.1 Tiefbau – Steinkohlen 255
3.3.1.2 Tagebau - Braunkohlen 256
3.3.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (Tagebau - Braunkohlen) 256
3.3.1.2.2 Methodik (Tagebau - Braunkohlen) 256
3.3.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Tagebau - Braunkohlen) 256
3.3.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Tagebau - Braunkohlen) 256

3.3.1.3 stillgelegter Steinkohlenbergbau 257
3.3.1.4 Umwandlung von festen Brennstoffen 257
3.3.1.4.1 Beschreibung der Kategorie (Umwandlung von festen Brennstoffen) 258
3.3.1.4.2 Methodische Aspekte (Umwandlung von festen Brennstoffen) 259
3.3.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Umwandlung von festen Brennstoffen) 259
3.3.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Umwandlung von festen Brennstoffen) 259
3.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.1 alle) 260
3.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch(1.B.1 alle) 260
3.3.2 Öl und Erdgas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung (1.B.2) 260
3.3.2.1 Öl (1.B.2.a) 261
3.3.2.1.1 „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 261
3.3.2.1.1.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 261
3.3.2.1.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 262
3.3.2.1.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 262
3.3.2.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 262
3.3.2.1.2 „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 262
3.3.2.1.2.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 263
3.3.2.1.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 263
3.3.2.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 263
3.3.2.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 264
3.3.2.1.3 „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 264
3.3.2.1.3.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 264
3.3.2.1.3.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 265
3.3.2.1.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 265
3.3.2.1.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 265
3.3.2.1.4 „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 266
3.3.2.1.4.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 266
3.3.2.1.4.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 268
3.3.2.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 269
3.3.2.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 269
3.3.2.1.5 „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 269
3.3.2.1.5.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 269
3.3.2.1.5.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 271
3.3.2.1.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 273
3.3.2.1.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 273
3.3.2.2 Gas (1.B.2.b) 273
3.3.2.2.1 „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 273
3.3.2.2.1.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 273
3.3.2.2.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 273
3.3.2.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 273
3.3.2.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 274
3.3.2.2.2 „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 274
3.3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 274
3.3.2.2.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 274
3.3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 275
3.3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 275
3.3.2.2.3 Gas, Verarbeitung (1.B.2.b.iii) 275
3.3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iii) 275

3.3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iii) 276
3.3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iii) 277
3.3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iii) 277
3.3.2.2.4 Gas, Weiterleitung (1.B.2.b.iv) 277
3.3.2.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iv) 277
3.3.2.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iv) 279
3.3.2.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iv) 279
3.3.2.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iv) 279
3.3.2.2.5 Gas, Verteilung (1.B.2.b.v) 280
3.3.2.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.v) 280
3.3.2.2.5.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v) 281
3.3.2.2.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v) 282
3.3.2.2.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v) 282
3.3.2.2.6 Gas, Sonstige Leckagen (1.B.2.b.vi) 283
3.3.2.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.vi) 283
3.3.2.2.6.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v) 283
3.3.2.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v) 284
3.3.2.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v) 284
3.3.2.3 Abfackelung und Entlüftung (1.B.2.c) 284
3.3.2.3.1.1 Beschreibung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 284
3.3.2.3.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 286
3.3.2.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 287
3.3.2.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 287
3.3.2.4 Geothermie (1.B.2.d) 287
3.3.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.d) 287
3.3.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.d) 288
3.3.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.d) 288
3.3.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und –Verifizierung (1.B.2.d) 288
3.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.2 alle) 288
3.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.B.2 alle) 289

4 Industrieprozesse (CRF Sektor 2) 290
4.1 Übersicht (CRF Sektor 2) 290
4.2 Mineralische Industrie (2.A) 290
4.2.1 Mineralische Industrie: Zement (2.A.1) 291
4.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.1) 291
4.2.1.2 Methodische Aspekte (2.A.1) 292
4.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.1) 293
4.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.1) 293
4.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.1) 294
4.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.1) 294
4.2.2 Mineralische Industrie: Kalk (2.A.2) 294
4.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.2) 294
4.2.2.2 Methodische Aspekte (2.A.2) 295
4.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.2) 296
4.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.2) 296
4.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.2) 297
4.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.2) 297
4.2.3 Mineralische Industrie: Glas (2.A.3) 297
4.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.3 Glas) 297
4.2.3.2 Methodische Aspekte (2.A.3 Glas) 298
4.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.3 Glas) 300
4.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.3 Glas) 301
4.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.3 Glas) 301
4.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.3 Glas) 301
4.2.4 Mineralische Industrie: Weiterer Einsatz von Karbonaten (2.A.4) 301
4.2.4.1 Mineralische Industrie: Keramik (2.A.4.a) 302
4.2.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.a Keramik) 302
4.2.4.1.2 Methodische Aspekte (2.A.4.a Keramik) 303
4.2.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.a Keramik) 305

4.2.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.a Keramik) 306
4.2.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.a Keramik) 306
4.2.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.a Keramik) 306
4.2.4.2 Mineralische Industrie: weitere Sodanutzung (2.A.4.b) 306
4.2.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.b) 306
4.2.4.2.2 Methodische Aspekte (2.A.4.b) 307
4.2.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.b) 308
4.2.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.b) 308
4.2.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.b) 308
4.2.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.b) 308
4.2.4.3 Herstellung nichtmetallurgischer Magnesiumprodukte (2.A.4.c) 308
4.2.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.c) 308
4.2.4.3.2 Methodische Aspekte (2.A.4.c) 308
4.2.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.c) 309
4.2.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.c) 309
4.2.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.c) 309
4.2.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.c) 309
4.2.4.4 Mineralische Industrie: weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d) 309
4.2.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.d) 309
4.2.4.4.2 Methodische Aspekte (2.A.4.d) 310
4.2.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.d) 310
4.2.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.d) 310
4.2.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.d) 310
4.2.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.d) 310
4.3 Chemische Industrie (2.B) 310
4.3.1 Chemische Industrie: Ammoniakproduktion (2.B.1) 311
4.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.1) 311
4.3.1.2 Methodische Aspekte (2.B.1) 312
4.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.1) 313
4.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.1) 313
4.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.1) 313
4.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.1) 313
4.3.2 Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion (2.B.2) 313
4.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.2) 313
4.3.2.2 Methodische Aspekte (2.B 2) 314
4.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.2) 315
4.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.2) 315
4.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.2) 315
4.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.2) 315
4.3.3 Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion (2.B.3) 315
4.3.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.3) 315
4.3.3.2 Methodische Aspekte (2.B.3) 316
4.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.3) 316
4.3.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.3) 317
4.3.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.3) 317
4.3.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.3) 317
4.3.4 Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure (2.B.4) 317
4.3.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.4) 317
4.3.4.2 Methodische Aspekte (2.B.4) 318
4.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.4) 319
4.3.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.4) 319
4.3.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.4) 319
4.3.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.4) 319
4.3.5 Chemische Industrie: Carbidproduktion (2.B.5) 319
4.3.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.5) 319
4.3.5.2 Methodische Aspekte (2.B.5) 319
4.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.5) 320
4.3.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.5) 320
4.3.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.5) 320
4.3.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.5) 320
4.3.6 Chemische Industrie: Titandioxid-Produktion (2.B.6) 321
4.3.7 Chemische Industrie: Soda-Herstellung (2.B.7) 321

4.3.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.7) 321
4.3.7.2 Methodische Aspekte (2.B.7) 321
4.3.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.7) 322
4.3.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.7) 322
4.3.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.7) 322
4.3.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.7) 322
4.3.8 Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8) 323
4.3.8.1 Chemische Industrie: Petrochemie (2.B.8 Petrochemie) 323
4.3.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Petrochemie) 323
4.3.8.1.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Petrochemie) 323
4.3.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Petrochemie) 325
4.3.8.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Petrochemie) 326
4.3.8.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Petrochemie) 326
4.3.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Petrochemie) 326
4.3.8.2 Chemische Industrie: Industrieruß-Produktion (2.B.8 Industrieruß) 327
4.3.8.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Industrieruß) 327
4.3.8.2.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Industrieruß) 327
4.3.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Industrieruß) 328
4.3.8.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Industrieruß) 329
4.3.8.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Industrieruß) 329
4.3.8.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Industrieruß) 329
4.3.9 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF_6 (2.B.9) 329
4.3.9.1 Nebenprodukt-Emissionen (2.B.9.a) 329
4.3.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.a) 329
4.3.9.1.2 Methodische Aspekte (2.B.9.a) 330
4.3.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.a) 330
4.3.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.a) 331
4.3.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.a) 331
4.3.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.a) 331
4.3.9.2 Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b) 331
4.3.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.b) 331
4.3.9.2.2 Methodische Aspekte (2.B.9.b) 331
4.3.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.b) 332
4.3.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.b) 332
4.3.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.b) 332
4.3.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.b) 332
4.3.10 Chemische Industrie - Sonstige: Emissionen aus sonstigen Produktionsprozessen (2.B.10) 332
4.3.10.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.10) 332
4.3.10.2 Methodische Aspekte (2.B.10) 333
4.3.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.10) 333
4.3.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.10) 333
4.3.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.10) 333
4.3.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.10) 333
4.4 Metallproduktion (2.C) 334
4.4.1 Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1) 334
4.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.1) 334
4.4.1.2 Methodische Aspekte (2.C.1) 334
4.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.1) 339
4.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.1) 340
4.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.1) 341
4.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.1) 341
4.4.2 Metallproduktion: Produktion von Ferrolegierungen (2.C.2) 341
4.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.2) 341
4.4.2.2 Methodische Aspekte (2.C.2) 341
4.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.2) 341
4.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.2) 342
4.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.2) 342
4.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.2) 342
4.4.3 Metallproduktion: Aluminiumproduktion (2.C.3) 342

4.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.3) 342
4.4.3.2 Methodische Aspekte (2.C.3) 343
4.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.3) 345
4.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.3) 346
4.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.3) 346
4.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.3) 346
4.4.4 Metallproduktion: Magnesiumproduktion (2.C.4) 346
4.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.4) 346
4.4.4.2 Methodische Aspekte (2.C.4) 346
4.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.4) 347
4.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.4) 347
4.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.4) 348
4.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.4) 348
4.4.5 Metallproduktion: Blei (2.C.5) 348
4.4.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.5) 348
4.4.5.2 Methodische Aspekte (2.C.5) 348
4.4.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.5) 348
4.4.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.5) 348
4.4.5.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.5) 349
4.4.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.5) 349
4.4.6 Metallproduktion: Zink (2.C.6) 349
4.4.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.6) 349
4.4.6.2 Methodische Aspekte (2.C.6) 349
4.4.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.6) 349
4.4.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.6) 349
4.4.6.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.6) 350
4.4.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.6) 350
4.4.7 Metallproduktion: Sonstige (2.C.7) 350
4.4.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.7) 350
4.4.7.2 Methodische Aspekte (2.C.7) 350
4.4.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.7) 350
4.4.7.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.7) 350
4.4.7.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.7) 351
4.4.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.7) 351
4.5 Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln (2.D) 351
4.5.1 Anwendung von Schmiermitteln (2.D.1) 351
4.5.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.1) 351
4.5.1.2 Methodische Aspekte (2.D.1) 351
4.5.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.1) 355
4.5.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.1) 356
4.5.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.1) 357
4.5.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.1) 357
4.5.2 Anwendung von Paraffinwachsen (2.D.2) 357
4.5.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.2) 357
4.5.2.2 Methodische Aspekte (2.D.2) 358
4.5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.2) 358
4.5.2.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.2) 358
4.5.2.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.2) 359
4.5.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.2) 359
4.5.3 Sonstige: Lösemittel - NMVOC (2.D.3 Lösemittel) 359
4.5.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Lösemittel) 359
4.5.3.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Lösemittel) 363
4.5.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Lösemittel) 365
4.5.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Lösemittel) 366
4.5.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Lösemittel) 366
4.5.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Lösemittel) 366
4.5.4 Sonstige: Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung (2.D.3 Bitumen) 366
4.5.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Bitumen) 366
4.5.4.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Bitumen) 367
4.5.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Bitumen) 368
4.5.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Bitumen) 368

4.5.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Bitumen) 368
4.5.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Bitumen) 368
4.5.5 Sonstige: Straßenasphaltierung (2.D.3 Asphalt) 368
4.5.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Asphalt) 368
4.5.5.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Asphalt) 369
4.5.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Asphalt) 369
4.5.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Asphalt) 369
4.5.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Asphalt) 369
4.5.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Asphalt) 369
4.5.6 CO_2-Emissionen aus dem Einsatz von AdBlue® in Straßenverkehr und Off-Road-Fahrzeugen (2.D.3 Sonstige: AdBlue) 370
4.5.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Sonstige: AdBlue) 370
4.5.6.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Sonstige: AdBlue) 370
4.5.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 371
4.5.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 371
4.5.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 371
4.5.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 371
4.6 Elektronik-Industrie (2.E) 372
4.6.1 Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1) 372
4.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.1) 372
4.6.1.2 Methodische Aspekte (2.E.1) 372
4.6.1.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.1) 373
4.6.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.1) 373
4.6.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.1) 373
4.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.1) 373
4.6.2 TFT (2.E.2) 374
4.6.3 Photovoltaik (2.E.3) 374
4.6.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.3) 374
4.6.3.2 Methodische Aspekte (2.E.3) 374
4.6.3.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.3) 375
4.6.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.3) 375
4.6.3.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.3) 375
4.6.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.3) 375
4.6.4 Wärmeüberträger (2.E.4) 375
4.6.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.4) 375
4.6.4.2 Methodische Aspekte (2.E.4) 375
4.6.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.4) 376
4.6.4.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.4) 376
4.6.4.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.4) 376
4.6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.4) 376
4.7 Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (2.F) 376
4.7.1 Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1) 380
4.7.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.1) 380
4.7.1.2 Methodische Aspekte (2.F.1) 380
4.7.1.2.1 Gewerbekälte (2.F.1.a) 380
4.7.1.2.2 Haushaltskälte (2.F.1.b) 384
4.7.1.2.3 Industriekälte (2.F.1.c) 385
4.7.1.2.4 Transportkälte (Kühlfahrzeuge und –container) (2.F.1.d) 388
4.7.1.2.5 Mobile Klimaanlagen (2.F.1.e) 391
4.7.1.2.6 Stationäre Klimaanlagen (2.F.1.f) 395
4.7.1.2.6.1 Raumklimageräte 395
4.7.1.2.6.2 Kaltwassersätze (Chiller) 396
4.7.1.2.6.3 Wärmepumpenanlagen 398
4.7.1.2.6.4 Wärmepumpen-Wäschetrockner 399
4.7.1.2.6.5 Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion 400
4.7.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.1 alle) 401
4.7.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.1 alle) 402
4.7.1.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.1 alle) 405
4.7.2 Schaumherstellung (2.F.2) 405
4.7.2.1 Geschlossenzellige Polyurethan-Hartschaumprodukte (2.F.2 PU hard foam) 405
4.7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU hard foam) 405
4.7.2.1.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU hard foam) 405

4.7.2.2 Geschlossenzelliger und offenzelliger XPS-Hartschaum (2.F.2 XPS) 406
4.7.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 XPS) 406
4.7.2.2.2 Methodische Aspekte (2.F.2 XPS) 407
4.7.2.3 Offenzelliger Polyurethan-Integralschaum (2.F.2 PU integral foam) 408
4.7.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU integral foam) 408
4.7.2.3.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU integral foam) 408
4.7.2.4 Offenzelliger Polyurethan-Montageschaum (2.F.2 one-component PU foam) 409
4.7.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 one-component PU foam) 409
4.7.2.4.2 Methodische Aspekte (2.F.2 one-component PU foam) 409
4.7.2.5 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.2 alle) 410
4.7.2.6 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.2 alle) 411
4.7.2.7 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.2 alle) 413
4.7.3 Feuerlöschmittel (2.F.3) 413
4.7.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.3) 413
4.7.3.2 Methodische Aspekte (2.F.3) 413
4.7.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.3) 414
4.7.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.3) 414
4.7.3.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.3) 414
4.7.4 Aerosole (2.F.4) 414
4.7.4.1 Dosieraerosole (2.F.4.a) 414
4.7.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.a) 414
4.7.4.1.2 Methodische Aspekte (2.F.4.a) 415
4.7.4.2 Sonstige Aerosole (2.F.4.b) 416
4.7.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.b) 416
4.7.4.2.2 Methodische Aspekte (2.F.4.b) 416
4.7.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.4 alle) 417
4.7.4.3.1 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.4 alle) 417
4.7.4.3.2 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.4 alle) 418
4.7.5 Lösemittel (2.F.5) 418
4.7.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.5) 418
4.7.5.2 Methodische Aspekte (2.F.5) 418
4.7.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.5) 418
4.7.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.5) 418
4.7.5.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.5) 418
4.7.6 Andere Anwendungen, die ODS Ersatzstoffe verwenden (2.F.6) 419
4.7.7 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.F alle) 419
4.8 Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G) 420
4.8.1 Elektrische Betriebsmittel (2.G.1) 421
4.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.1) 421
4.8.1.2 Methodische Aspekte (2.G.1) 422
4.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.1) 424
4.8.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.1) 425
4.8.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.1) 425
4.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.1) 425
4.8.2 SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2) 426
4.8.2.1 Militär - AWACS Wartung (2.G.2.a) 426
4.8.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2a) 426
4.8.2.1.2 Methodische Aspekte (2.G.2.a) 426
4.8.2.2 Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b) 426
4.8.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.b) 426
4.8.2.2.2 Methodische Aspekte (2.G.2.b) 427
4.8.2.3 Isolierglasfenster (2.G.2.c) 428
4.8.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.c) 428
4.8.2.3.2 Methodische Aspekte (2.G.2.c) 429
4.8.2.4 Adiabatisch - Autoreifen (2.G.2.d) 430
4.8.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d) 430
4.8.2.4.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d) 430
4.8.2.5 Adiabatisches Verhalten - Sportschuhe (2.G.2.d) 430
4.8.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d) 430
4.8.2.5.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d) 430
4.8.2.6 Sonstige: Spurengas (2.G.2.e) 431
4.8.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 431
4.8.2.6.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 431

4.8.2.7 Sonstige: Schweißen (2.G.2.e) 431
4.8.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 431
4.8.2.7.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 431
4.8.2.8 Sonstige: Optische Glasfasern (2.G.2.e) 432
4.8.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 432
4.8.2.8.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 432
4.8.2.9 Sonstige: Medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e) 432
4.8.2.9.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 432
4.8.2.9.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 433
4.8.2.10 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.2 alle) 434
4.8.2.11 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.2 alle) 435
4.8.2.12 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.2 alle) 435
4.8.2.13 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.2 alle) 435
4.8.3 Verwendung von N_2O (2.G.3) 436
4.8.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.3) 436
4.8.3.2 Methodische Aspekte (2.G.3) 437
4.8.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.3) 439
4.8.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.3) 439
4.8.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.3) 440
4.8.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.3) 440
4.8.4 Sonstige Produktherstellung und -verwendung: Andere - ORC-Anlagen (2.G.4 ORC-Anlagen) 440
4.8.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 ORC-Anlagen) 440
4.8.4.2 Methodische Aspekte (2.G.4 ORC-Anlagen) 441
4.8.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 ORC-Anlagen) 441
4.8.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 ORC-Anlagen) 442
4.8.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 ORC-Anlagen) 442
4.8.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 ORC-Anlagen) 442
4.8.5 Sonstige Produktherstellung und -verwendung: Andere - Containerbegasung (2.G.4 Containerbegasung) 442
4.8.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Containerbegasung) 442
4.8.5.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Containerbegasung) 443
4.8.5.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Containerbegasung) 443
4.8.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Containerbegasung) 443
4.8.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Containerbegasung) 444
4.8.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Containerbegasung) 444
4.8.6 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle) 444
4.8.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Holzkohle) 444
4.8.6.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Holzkohle) 444
4.8.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Holzkohle) 445
4.8.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Holzkohle) 445
4.8.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Holzkohle) 445
4.8.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Holzkohle) 445
4.8.7 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Lachgas aus Sprengstoffen (2.G.4 Sprengstoffe) 445
4.8.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Sprengstoffe) 445
4.9 Andere Produktionen (2.H) 445
4.9.1 Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung (2.H.1) 446
4.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.1) 446
4.9.1.2 Methodische Aspekte (2.H.1) 446
4.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.1) 447
4.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.1) 447
4.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.1) 448
4.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.1) 448
4.9.2 Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke (2.H.2) 448
4.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.2) 448
4.9.2.2 Methodische Aspekte (2.H.2) 449
4.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.2) 449
4.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.2) 449

4.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.2) 449
4.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.2) 449
4.9.3 Andere Bereiche (2.H.3) 450

5 Landwirtschaft (CRF Sektor 3) 452
5.1 Übersicht (CRF Sektor 3) 452
5.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen 1990 - 2020 452
5.1.2 Das Emissionsinventarmodell Py-GAS-EM 453
5.1.2.1 Verwendete Regelwerke und ausführlicher Bericht 453
5.1.2.2 Grundstruktur des Emissionsinventarmodelles Py-GAS-EM 453
5.1.2.3 Die Behandlung von CH_4 im Emissionsinventar 455
5.1.2.4 Das Stickstoff-Fluss-Konzept (3.B, 3.D) 455
5.1.3 Charakterisierung der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 457
5.1.3.1 Tierkategorien (3.A, 3.B) 457
5.1.3.2 Tierplatzzahlen (3.A, 3.B) 458
5.1.3.2.1 Erhebungen durch die statistischen Ämter des Bundes und der Länder 458
5.1.3.2.2 Besonderheiten der Tierplatzzahlen im Inventar 460
5.1.3.2.3 Im Inventar verwendete Tierplatzzahlen (3.A, 3.B) 461
5.1.3.2.4 Vergleich mit Tierzahlen der FAO (3.A, 3.B) 462
5.1.3.3 Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B) 463
5.1.3.4 N-Ausscheidungen (3.B) 466
5.1.3.5 VS-Ausscheidungen (3.B) 468
5.1.3.6 Haltungs-, Lager- und Ausbringungsverfahren (CRF 3.B, 3.D) 469
5.1.3.6.1 Häufigkeitsverteilungen (3.B, 3.D) 469
5.1.3.6.2 Einstreu bei Festmistsystemen 470
5.1.3.6.3 Maximale Methan-Bildungsrate B_o (3.B(b)) 471
5.1.3.6.4 Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (3.B) 471
5.1.3.6.5 Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärreste-Management (3.B) 473
5.1.4 Vergärung von Energiepflanzen: Konzept und Aktivitätsdaten 477
5.1.4.1 Konzept und Berücksichtigung in den CRF-Tabellen 477
5.1.4.2 Aktivitätsdaten und Parameter 478
5.1.5 Konzept und Aktivitätsdaten für Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Kulturen 479
5.1.5.1 N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (3.D) 479
5.1.5.1.1 Konzept für die Berechnung direkter Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden 479
5.1.5.1.2 Den direkten N_2O-Emissionen zugrunde liegende N-Mengen (3.D) 479
5.1.5.1.3 Flächen bewirtschafteter organischer Böden (3.D) 484
5.1.5.1.4 Deposition reaktiven Stickstoffs (3.B, 3.D, 3.J) 484
5.1.5.1.5 Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D) 484
5.1.5.2 CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I) 485
5.1.5.3 NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen 486
5.1.6 Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3 486
5.1.7 Qualitätssicherung und -kontrolle 490
5.1.7.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts 490
5.1.7.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse 490
5.1.7.3 Verifizierung 491
5.1.7.4 Reviews und Reports 491
5.2 Fermentation bei der Verdauung (3.A) 492
5.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.A) 492
5.2.2 Methodische Aspekte (3.A) 493
5.2.2.1 Methodik (3.A) 493
5.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.A) 495
5.2.2.3 Emissionen (3.A) 496
5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.A) 496
5.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.A) 496
5.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.A) 498
5.2.6 Geplante Verbesserungen (3.A) 499
5.3 Wirtschaftsdünger-Management (3.B) 500
5.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B) 500
5.3.2 Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, CH_4) 501
5.3.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, CH_4) 501
5.3.2.2 Methodische Aspekte (3.B, CH_4) 501
5.3.2.2.1 Methodik (3.B, CH_4) 501

5.3.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.B,CH_4) *502*
5.3.2.2.3 Emissionen (CRF 3.B, CH_4) *502*
5.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, CH_4) 503
5.3.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, CH_4) 503
5.3.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, CH_4) 506
5.3.2.6 Geplante Verbesserungen (3.B, CH_4) 507
5.3.3 NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 507
5.3.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (NMVOC) 507
5.3.3.2 Methodische Aspekte (NMVOC) 507
5.3.3.2.1 Methodik (NMVOC) *507*
5.3.3.2.2 Emissionsfaktoren (NMVOC) *508*
5.3.3.2.3 Emissionen (NMVOC) *509*
5.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (NMVOC) 509
5.3.3.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (NMVOC) 509
5.3.3.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (NMVOC) 509
5.3.3.6 Geplante Verbesserungen (NMVOC) 510
5.3.4 Direkte N_2O- und NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, N_2O & NO) 510
5.3.4.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 510
5.3.4.2 Methodische Aspekte (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 510
5.3.4.2.1 Methodik (3.B, N_2O_{direkt} & NO) *510*
5.3.4.2.2 Emissionsfaktoren (3.B, N_2O_{direkt} & NO) *510*
5.3.4.2.3 Emissionen (3.B, N_2O_{direkt} & NO) *512*
5.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 513
5.3.4.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 514
5.3.4.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 515
5.3.4.6 Geplante Verbesserungen (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 516
5.3.5 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger-Managements (3.B) 516
5.3.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 516
5.3.5.2 Methodische Aspekte (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 516
5.3.5.2.1 Methodik (3.B, $N_2O_{indirekt}$) *516*
5.3.5.2.2 Emissionsfaktor (3.B, $N_2O_{indirekt}$) *517*
5.3.5.2.3 Emissionen (3.B, $N_2O_{indirekt}$) *517*
5.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 517
5.3.5.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 517
5.3.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 518
5.3.5.6 Geplante Verbesserungen (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 518
5.4 Reisanbau (3.C) 518
5.5 Landwirtschaftliche Böden (3.D) 518
5.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.D) 518
5.5.2 Methodische Aspekte und Emissionen(3.D) 519
5.5.2.1 Methodik und Emissionsfaktoren (3.D) 519
5.5.2.1.1 Direkte N_2O-Emissionen (3.D.a) *519*
5.5.2.1.2 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden(3.D) *521*
5.5.2.1.3 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D) *522*
5.5.2.1.4 NO-Emissionen *522*
5.5.2.1.5 NMVOC-Emissionen *522*
5.5.2.2 Die *Frac*-Größen (3.D) 523
5.5.2.3 Emissionen (3.D) 524
5.5.3 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.D) 525
5.5.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.D) 527
5.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.D) 528
5.5.6 Geplante Verbesserungen (3.D) 529
5.6 Brandrodung (3.E) 529
5.7 Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche (3.F) 529
5.8 CO_2 aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I) 530
5.8.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.G-I) 530
5.8.2 Methodik und Emissionen (3.G-I) 530
5.8.3 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.G-I) 531
5.8.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.G-I) 532

5.8.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.G-I) 532
5.8.6 Geplante Verbesserungen (3.G-I) 533
5.9 CH_4 und N_2O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) (3.J) 533
5.9.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.J) 533
5.9.2 Methodische Aspekte (3.J) 534
5.9.3 CH_4-Emissionsfaktor und -Emissionen (3.J, CH_4) 534
5.9.4 N_2O-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, N_2O) 535
5.9.5 NO-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, NO) 535
5.9.6 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.J) 535
5.9.7 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.J) 536
5.9.8 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.J) 536
5.9.9 Geplante Verbesserungen (3.J) 536

6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF Sektor 4) 537
6.1 Übersicht (CRF Sektor 4) 537
6.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen und -senken 1990 - 2020 537
6.1.2 Methodische Grundlagen 540
6.1.2.1 Kohlenstoffemissionen aus Mineralböden (4.A bis 4.F) 544
6.1.2.1.1 Übersicht Methodik 544
6.1.2.1.2 Datengrundlage und Verfahren 547
6.1.2.1.3 Wald 548
6.1.2.1.4 Ackerland 549
6.1.2.1.5 Grünland 550
6.1.2.1.6 Siedlungen 550
6.1.2.1.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Sonstiges Land 555
6.1.2.1.8 Unsicherheiten 556
6.1.2.1.9 Geplante Verbesserungen 557
6.1.2.2 Emissionen aus organischen Böden (3.D; 4.A bis 4.F; CRF-Tabelle 4(II)) 557
6.1.2.2.1 Aktivitätsdaten 558
6.1.2.2.2 Emissionsberechnung 559
6.1.2.2.3 Implizite Emissionsfaktoren (IEF) 560
6.1.2.3 Kohlenstoffemissionen aus der Biomasse (4.A bis 4.F) 561
6.1.2.3.1 Allgemeines 561
6.1.2.3.2 Allgemeine Berechnungsmethoden 562
6.1.2.3.3 Annuelle Kulturen und Grünland: Berechnungsmethoden und Emissionsfaktoren 562
6.1.2.3.4 Perennierende Kulturen: Berechnungsmethoden und Emissionsfaktoren 564
6.1.2.3.5 Ableitung der Emissionsfaktoren für perennierende Gehölzkulturen 566
6.1.2.3.5.1 Obstgehölze 566
6.1.2.3.5.2 Wein 569
6.1.2.3.5.3 Baumschulen 571
6.1.2.3.5.4 Weihnachtsbaumkulturen 573
6.1.2.3.5.5 Kurzumtriebsplantagen 574
6.1.2.3.5.6 Hopfen 576
6.1.2.3.6 Berechnungsmethodik und Ermittlung der Emissionsfaktoren für Hecken und Feldgehölze 577
6.1.2.3.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Siedlungen 578
6.1.2.3.8 Wald 581
6.1.2.4 Kohlenstoffemissionen aus toter organischer Substanz (4.A bis 4.F) 582
6.1.2.5 Direkte N_2O-Emissionen aus Stickstoff-Düngung von Waldflächen und anderen Flächen (4(I)) 582
6.1.2.6 Emissionen aus der Entwässerung von organischen und mineralischen Böden 582
6.1.2.7 Direkte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus Stickstoff-Mineralisierung (CRF-Tabelle 4(III)) 583
6.1.2.8 Indirekte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus bewirtschafteten Böden (CRF-Tabelle 4(IV)) 584
6.1.2.9 Verbrennung von Biomasse (CRF-Tabelle 4(V)) 585
6.1.2.10 Unsicherheiten 586
6.1.3 Qualitätssicherung und -kontrolle 586
6.1.3.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts 587
6.1.3.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse 587
6.1.3.3 Verifizierung 588
6.1.3.4 Reviews und Reports 589
6.1.4 Geplante Verbesserungsmaßnahmen 589
6.2 Definitionen von Landnutzung, Klassifizierungssysteme und ihre Widerspiegelung in den LULUCF-Kategorien 590

6.2.1 Wälder 590
6.2.2 Ackerland 590
6.2.3 Grünland 591
6.2.4 Feuchtgebiete 592
6.2.5 Siedlungen 594
6.2.6 Sonstiges Land 595
6.3 Informationen zu den für die Ermittlung der Landflächen gewählten Ansätzen und zu den verwendeten Landnutzungs-Datenquellen 595
6.3.1 Einleitung 595
6.3.2 Datengrundlage und -aufbereitung 595
6.3.2.1 Datenquellen 596
6.3.2.2 Ableiten der LULUCF-Informationen 600
6.3.3 Fehlerbetrachtung 601
6.3.4 Schrittweise Implementierung 601
6.3.4.1 Ableitung der Landnutzung 602
6.3.4.2 Ableitung der jährlichen Landnutzungsänderungen 603
6.3.5 Landnutzungsänderungen nach Konvention und KP 603
6.3.6 Verifizierung 614
6.4 Wälder (4.A) 615
6.4.1 Beschreibung der Kategorie (4.A) 615
6.4.2 Methodische Aspekte (4.A) 618
6.4.2.1 Datenquellen 618
6.4.2.1.1 Bundeswald- und Zwischeninventuren, Datenspeicher Waldfonds und Holzeinschlagszahlen 618
6.4.2.1.2 Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) 619
6.4.2.2 Biomasse (CRF -Table 4.A) 619
6.4.2.2.1 Verbleibende Waldfläche 619
6.4.2.2.2 Neuwaldfläche 622
6.4.2.2.3 Herleitung der Einzelbaumbiomassen 622
6.4.2.2.4 Konvertierung in oberirdische Einzelbaumbiomasse 623
6.4.2.2.5 Konvertierung in unterirdische Biomasse 625
6.4.2.2.6 Konvertierung der Einzelbaumbiomasse in Kohlenstoff 627
6.4.2.2.7 Zustandsschätzer für 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017 627
6.4.2.2.8 Schätzer für die Vorratsveränderung nach der „Stock-Difference-Method“ 629
6.4.2.2.9 Herleitung der jährlichen Veränderungsschätzungen 630
6.4.2.3 Totholz (CRF-Table 4.A) 630
6.4.2.3.1 Verbleibende Waldfläche 630
6.4.2.3.2 Neuwaldfläche 631
6.4.2.4 Streu (CRF-Table 4.A) 632
6.4.2.4.1 Verbleibende Waldfläche 632
6.4.2.4.2 Neuwaldflächen 632
6.4.2.4.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte der Streu 633
6.4.2.4.4 Herleitung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu in dem Zeitraum von 1990 (BZE I) bis 2006 (BZE II) 633
6.4.2.5 Mineralische Böden (CRF-Table 4.A) 634
6.4.2.5.1 Verbleibende Waldfläche 634
6.4.2.5.2 Neuwaldflächen 634
6.4.2.5.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen 634
6.4.2.5.4 Ergebnisse der Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen 637
6.4.2.6 Organische Böden (CRF-Table 4.A) 638
6.4.2.6.1 Verbleibende Waldfläche 638
6.4.2.6.2 Neuwaldflächen 638
6.4.2.7 Sonstige Treibhausgasemissionen aus Wäldern 639
6.4.2.7.1 Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(I)) 639
6.4.2.7.2 Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(II)) 639
6.4.2.7.3 Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(III)) 639
6.4.2.7.4 Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(IV)) 639
6.4.2.7.5 Waldbrand (CRF-Table 4(V)) 640
6.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.A) 642
6.4.3.1 Unsicherheiten bei der Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen 643

6.4.3.2 Unsicherheiten bei der Schätzung der Emissionsfaktoren von lebender und toter Biomasse 643
6.4.3.3 Unsicherheiten bei der Schätzung der Streu und der mineralischen Böden 647
6.4.3.3.1 Probenahmefehler 647
6.4.3.3.2 Kleinräumige Variabilität 647
6.4.3.3.3 Repräsentanz von Punkten innerhalb der Straten 647
6.4.3.3.4 Stichprobenfehler 647
6.4.3.3.5 Quantifizierung von methodisch bedingten Unsicherheiten 647
6.4.3.4 Zeitreihenkonsistenz 648
6.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.A) 648
6.4.4.1 Biomasse und Totholz 649
6.4.4.2 Streu und mineralische Böden 649
6.4.4.3 Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten 650
6.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.A) 652
6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.A) 655
6.5 Ackerland (4.B) 655
6.5.1 Beschreibung der Kategorie (4.B) 655
6.5.2 Methodische Aspekte (4.B) 659
6.5.2.1 Datenquellen 659
6.5.2.2 Biomasse 660
6.5.2.2.1 Landnutzungsänderung 660
6.5.2.2.2 Verbleibkategorie 661
6.5.2.3 Mineralische Böden 661
6.5.2.3.1 Landnutzungsänderung 661
6.5.2.3.2 Verbleibkategorie 661
6.5.2.4 Organische Böden 664
6.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.B) 665
6.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.B) 673
6.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.B) 675
6.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.B) 676
6.6 Grünland (4.C) 677
6.6.1 Beschreibung der Kategorie (4.C) 677
6.6.2 Methodische Aspekte (4.C) 681
6.6.2.1 Datenquellen 681
6.6.2.2 Biomasse 681
6.6.2.3 Mineralische Böden 682
6.6.2.4 Organische Böden 682
6.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.C) 683
6.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.C) 686
6.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.C) 688
6.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.C) 689
6.7 Feuchtgebiete (4.D) 690
6.7.1 Beschreibung der Kategorie (4.D) 690
6.7.2 Methodische Aspekte (4.D) 692
6.7.2.1 Datenquellen 692
6.7.2.2 Biomasse 693
6.7.2.3 Mineralböden 693
6.7.2.4 Organische Böden 693
6.7.2.5 Torfabbau 693
6.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.D) 694
6.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.D) 698
6.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.D) 699
6.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.D) 700
6.8 Siedlungen (4.E) 700
6.8.1 Beschreibung der Kategorie (4.E) 700
6.8.2 Methodische Aspekte (4.E) 703
6.8.2.1 Datenquellen 703
6.8.2.2 Biomasse 703
6.8.2.3 Mineralische Böden 703
6.8.2.4 Organische Böden 703
6.8.2.5 Flächenbrände 703
6.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.E) 703
6.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.E) 705

6.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.E) 707
6.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.E) 709
6.9 Sonstiges Land (4.F) 709
6.9.1 Beschreibung der Kategorie (4.F) 709
6.9.2 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.F) 709
6.9.3 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.F) 709
6.9.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.F) 710
6.9.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.F) 710
6.10 Holzprodukte (4.G) 710
6.10.1 Beschreibung der Kategorie (4.G) 710
6.10.2 Methodische Aspekte (4.G) 713
6.10.2.1 Aktivitätsdaten 713
6.10.2.2 Emissionsfaktoren 715
6.10.2.3 Verwendete Berechnungsmethode 715
6.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.G) 715
6.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.G) 716
6.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.G) 716
6.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.G) 717
6.11 Andere Bereiche (4.H) 717

7 Abfall und Abwasser (CRF Sektor 5) 718
7.1 Übersicht (CRF Sektor 5) 718
7.2 Abfalldeponierung (5.A) 718
7.2.1 Geordnete Deponierung – Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A.1) 718
7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.A.1) 718
7.2.1.2 Methodische Aspekte (5.A.1) 720
7.2.1.2.1 Deponierte Abfallmengen 722
7.2.1.2.2 Abfallzusammensetzung 724
7.2.1.2.3 MCF (Methankorrekturfaktor) 726
7.2.1.2.4 DOC 727
7.2.1.2.5 DOC_F 728
7.2.1.2.6 F = Anteil des CH_4 am Deponiegas 728
7.2.1.2.7 Halbwertszeit 729
7.2.1.2.8 Deponiegasnutzung 730
7.2.1.2.9 Fackeln 732
7.2.1.2.10 Oxidationsfaktor 732
7.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.A.1) 732
7.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.A.1) 733
7.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.A.1) 733
7.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.A.1) 733
7.3 Biologische Abfallbehandlung (5.B) 733
7.3.1 Kompostierungsanlagen (5.B.1) 734
7.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.1) 734
7.3.1.2 Methodische Aspekte (5.B.1) 734
7.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.1) 736
7.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.1) 736
7.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.1) 737
7.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.1) 738
7.3.2 Vergärungsanlagen (5.B.2) 738
7.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.2) 738
7.3.2.2 Methodische Aspekte (5.B.2) 739
7.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.2) 741
7.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.2) 741
7.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.2) 742
7.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.2) 742
7.4 Abfallverbrennung (5.C) 743
7.4.1 Krematorien 743
7.4.2 Brauchtumsfeuer und ähnliche offene Verbrennungen 743
7.5 Abwasserbehandlung (5.D) 744
7.5.1 Kommunale Abwasserbehandlung (5.D.1) 744
7.5.1.1 Methanemissionen der kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1 Abwasserbehandlung) 745

7.5.1.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Abwasserbehandlung) 745
7.5.1.1.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Abwasserbehandlung) 746
7.5.1.1.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Abwasserbehandlung) 749
7.5.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Abwasserbehandlung) 750
7.5.1.1.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Abwasserbehandlung) 752
7.5.1.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Abwasserbehandlung) 752
7.5.1.2 Methanemissionen der kommunalen Schlammbehandlung (5.D.1 Schlammbehandlung) 753
7.5.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Schlammbehandlung) 753
7.5.1.2.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Schlammbehandlung) 754
7.5.1.2.2.1 Faulgas 754
7.5.1.2.2.2 Faulgasverluste 755
7.5.1.2.2.3 Offene Schlammfaulung 755
7.5.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Schlammbehandlung) 755
7.5.1.2.3.1 Faulgas 755
7.5.1.2.3.2 Offene Schlammfaulung 756
7.5.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Schlammbehandlung) 756
7.5.1.2.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Schlammbehandlung) 756
7.5.1.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Schlammbehandlung) 756
7.5.1.3 Lachgasemissionen aus dem kommunalen Abwasser (5.D.1 Lachgas kommunal) 756
7.5.1.3.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Lachgas kommunal) 756
7.5.1.3.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Lachgas kommunal) 757
7.5.1.3.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Lachgas kommunal) 760
7.5.1.3.4 Quellgruppenspezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Lachgas kommunal) 761
7.5.1.3.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Lachgas kommunal) 763
7.5.1.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Lachgas kommunal) 763
7.5.2 Industrielle Abwasserbehandlung (5.D.2) 764
7.5.2.1 Methanemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2) 764
7.5.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 CH_4) 764
7.5.2.1.2 Methodische Aspekte (5.D.2 CH_4) 765
7.5.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 CH_4) 769
7.5.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 CH_4) 769
7.5.2.1.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 CH_4) 770
7.5.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 CH_4) 770
7.5.2.2 Lachgasemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2 N_2O) 770
7.5.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 N_2O) 770
7.5.2.2.2 Methodische Aspekte (5.D.2 N_2O industriell) 770
7.5.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 N_2O) 772
7.5.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 N_2O) 773
7.5.2.2.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 N_2O) 774
7.5.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 N_2O) 774
7.6 Andere Bereiche (5.E) 774
7.6.1 Andere Bereiche - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) (5.E Other MBA) 775
7.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.E Other MBA) 775
7.6.1.2 Methodische Aspekte (5.E Other: MBA) 777
7.6.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.E Other MBA) 778
7.6.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.E Other MBA) 779
7.6.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.E Other MBA) 779
7.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.E Other MBA) 779

8 Andere (CRF Sektor 6) 779

9 Indirektes CO_2 & N_2O 780

10 Rückrechnungen und Verbesserungen 781
10.1 Erklärung und Rechtfertigung der Rückrechnungen 781
10.1.1 Treibhausgas-Inventar 781
10.1.1.1 Generelles Vorgehen 781
10.1.1.2 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Quellgruppen 781
10.1.1.3 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Substanzen 784
10.1.1.4 Rückrechnungen als Umsetzung von Ergebnissen des Review Prozesses 784

10.1.2 KP-LULUCF-Inventar 785
10.1.2.1 Generelles Vorgehen 785
10.1.2.2 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Kategorien 785
10.1.2.3 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Substanzen 785
10.2 Auswirkung auf die Höhe der Emissionen 785
10.2.1 Treibhausgas-Inventar 785
10.2.1.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990 786
10.2.1.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2019 787
10.2.2 KP-LULUCF-Inventar 788
10.2.2.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990 788
10.2.2.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2020 788
10.3 Auswirkung auf die Emissionstrends und die Konsistenz der Zeitreihe 789
10.3.1 Treibhausgas-Inventar 789
10.3.2 KP-LULUCF-Inventar 789
10.4 Verbesserungen des Inventars 789
10.4.1 Treibhausgas-Inventar 789
10.4.2 KP & LULUCF 806
10.4.3 Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments 806

11 Ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert 813
11.1 Allgemeine Informationen 813
11.1.1 Walddefinition und andere Kriterien 813
11.1.2 Gewählte Aktivitäten unter Artikel 3, Absatz 4 des Kyoto-Protokolls 813
11.1.3 Beschreibung wie die Definitionen aller Aktivitäten nach Artikel 3.3 und aller gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 umgesetzt und im Zeitverlauf konstant angewandt wurden 814
11.1.3.1 Neu- und Wiederaufforstung und Entwaldung (ARD) 814
11.1.3.2 Waldbewirtschaftung (FM) 816
11.1.3.3 Ackerlandbewirtschaftung (CM) 816
11.1.3.4 Weidelandbewirtschaftung (GM) 817
11.1.4 Beschreibung der vorrangigen Bedingungen und/oder der Hierarchie unter den Aktivitäten nach Artikel 3.4, und wie sie konstant auf die Bestimmung der Landklassifizierung angewandt wurden 818
11.2 Landbezogene Informationen 819
11.2.1 Methode, die für die Bestimmung der Flächengröße nach Artikel 3.3 genutzt wird 819
11.2.2 Methodik, die zur Entwicklung der Landübergangsmatrix benutzt wird 819
11.2.3 Karten und/oder Datenbanken zur Bestimmung der geografischen Position von Flächen und das dazugehörige Identifizierungssystem 821
11.3 Aktivitätsspezifische Informationen 822
11.3.1 Methoden für die Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung, Treibhausgasemissionen und Reduktionsschätzungen 822
11.3.1.1 Beschreibung der Methoden und der angewandten, zugrundeliegenden Annahmen 822
11.3.1.1.1 Zusammenfassung 822
11.3.1.1.2 Biomasse 827
11.3.1.1.3 Totholz 828
11.3.1.1.4 Streu 829
11.3.1.1.5 Mineralische Böden 829
11.3.1.1.6 Organische Böden 831
11.3.1.1.7 Holzprodukte 831
11.3.1.1.8 Sonstige Treibhausgasemissionen 832
11.3.1.2 Begründung bei Nichtberücksichtigung eines Kohlenstoffpools oder Treibhausgasemissionen/-abbau bei Aktivitäten nach Artikel 3.3 und gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 833
11.3.1.3 Informationen ob indirekte oder natürliche Treibhausgase ausgeklammert wurden oder nicht 833
11.3.1.4 Änderungen in den Daten und Methoden seit der letzten Einreichung (Rückrechnungen) 833
11.3.1.5 Schätzung der Unsicherheiten 839
11.3.1.5.1 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die Biomasse und das Totholz 843
11.3.1.5.2 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Mineralboden und Streu 843
11.3.1.5.3 Schätzung der Unsicherheiten für die Holzprodukte 843

11.3.1.6 Informationen über andere Methoden 844
11.3.1.7 Das Anfangsjahr einer Aktivität, die nach 2013 begonnen hat 845
11.4 Artikel 3.3 845
11.4.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.3 am oder nach dem 1. Januar 1990 und vor dem 31.Dezember 2020 begonnen haben und direkt vom Menschen verursacht sind 845
11.4.2 Informationen über die Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung 846
11.4.3 Informationen über die Größe und geografische Lage von Waldgebieten, die ihre Waldbedeckung verloren haben aber nicht als entwaldet gelten 847
11.4.4 Informationen in Bezug auf Natürlichen Störungen unter dem Artikel 3.3 847
11.4.5 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.3 847
11.5 Artikel 3.4 847
11.5.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.4 seit dem 1.Januar 1990 auftraten und vom Menschen verursacht sind 847
11.5.1.1 Waldbewirtschaftung 847
11.5.1.2 Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung 850
11.5.2 Informationen bezüglich der Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung für das Basisjahr 850
11.5.2.1 Ackerlandbewirtschaftung 850
11.5.2.2 Weidelandbewirtschaftung 851
11.5.3 Informationen zur Waldbewirtschaftung 852
11.5.3.1 Definition der Waldbewirtschaftung 852
11.5.3.2 Umwandlung von natürlichen Wäldern (Natural Forest) zu Gepflanztem Wald (Planted Forest) 853
11.5.3.3 Forest Management Reference Level (FMRL) 853
11.5.3.4 Technische Korrektur des FMRL 854
11.5.3.5 Ermittlung des FM CAP 858
11.5.3.6 Informationen zur Abbrechnung unter dem Kyoto-Protokoll 858
11.5.3.7 Informationen in Bezug auf Natürliche Störungen unter dem Artikel 3.4 859
11.5.3.8 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.4 859
11.6 Weitere Informationen 860
11.6.1 Hauptkategorienanalyse für Aktivitäten nach Artikel 3.3 und die gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 860
11.6.2 Bewirtschaftete Feuchtgebiete gemäß (EU)2018/841 860
11.7 Informationen zu Artikel 6 (JI- & CDM-Projekte / Management der ERU) 861

12 Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten 861
12.1 Background information 861
12.2 Summary of information reported in the SEF tables 861
12.3 Discrepancies and Notifications 862
12.4 Publicly accessible information 863
12.5 Calculation of the Commitment Period Reserve 863
12.6 KP-LULUCF accounting 864

13 Informationen über Änderungen im nationalen Systems 866

14 Informationen zu Änderungen in den Nationalen Registern 866

15 Informationen zur Minimierung der negativen Einflüsse nach Artikel 3, Absatz 14 867

16 Weitere Informationen 867

17 Anhang 1: Hauptkategorien des deutschen Treibhausgasinventars 868
17.1 Beschreibung der Methoden zur Festlegung der Hauptkategorien 868
17.1.1 Methode-1-Verfahren 869
17.1.2 Methode-2-Verfahren 873
17.1.3 Bewertung qualitativer Kriterien 873
17.1.4 Hauptkategorien-Analyse für die Kyoto-Berichterstattung 874

18 Anhang 2: Detaillierte Erläuterung der Methoden und Daten zur Berechnung von CO2 Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen 876
18.1 Die Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 876

18.2 Aufbau der Energiebilanzen 877
18.3 Methodische Aspekte: Energiebedingte Aktivitätsraten 878
18.4 Unsicherheiten, Zeitreihenkonsistenz und Qualitätssicherung der Energiebilanz 879
18.4.1 Qualitätsbericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zur Erstellung der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 879
18.4.1.1.1 Hintergrund 880
18.4.1.1.2 Arbeitsteilung bei der Erstellung der Energiebilanzen 880
18.4.1.1.3 Qualität der verwendeten Datenquellen 881
18.4.1.1.4 Transparenz der Methoden und Verfahren 884
18.4.1.1.5 Kontrolle und Verifikation der Ergebnisse 885
18.4.1.1.6 Dokumentation und Archivierung 886
18.4.1.1.7 Qualifikation der Bearbeiter 886
18.4.1.1.8 Erläuterungen zur Aktualität bzw. zeitlichen Verfügbarkeit der Daten für die Erstellung der Energiebilanzen 886
18.5 REGELMÄßIGER VERGLEICH VON ENERGIEBILANZEN 891
18.5.1 Vergleich der Energiebilanz 2019 mit der Energiebilanz 2018 891
18.6 Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung 894
18.7 Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen 900
18.8 CO_2-Emissionsfaktoren 900
18.8.1 Steinkohlen 900
18.8.2 Braunkohlen 903
18.8.3 Mineralöle 905
18.8.4 Gase 907
18.8.5 Abfall und Sonderbrennstoffe 909
18.8.6 Biomassebrennstoffe 909
18.8.7 Liste der abgeleiteten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für Energie & Industrieprozesse 910
18.9 Analyse der CO_2-Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Energieträgern 916

19 Anhang 3: Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für einzelne Quell- und Senkenkategorien, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten 920
19.1 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Energie (1) 920
19.1.1 Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen der neuen Bundesländer für das Jahr 1990 und der Folgejahre (1.A.1 und 1.A.2) 920
19.1.2 Energiewirtschaft (1.A.1) 920
19.1.2.1 Methodische Aspekte der Ermittlung der Emissionsfaktoren (Kapitel 3.2.6.2) 920
19.1.2.2 CO_2-Emissionen aus der Abgasentschwefelung (CRF 1.A.1, Kalksteinbilanz) 924
19.1.3 Verkehr (1.A.3) 925
19.1.3.1 Verkehr - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a) 925
19.1.3.1.1 Ableitung der weiteren Emissionsfaktoren (1.A.3.a) 925
19.1.3.1.2 Detailübersicht der für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren zugrunde gelegten Unsicherheiten (1.A.3.a) 928
19.1.3.2 Ableitung der Aktivitätsraten zum Straßenverkehr (1.A.3.b) 929
19.1.3.2.1 Abgleich auf die Energiebilanz 929
19.1.3.2.2 Zuordnung von Bio-Kraftstoffen, Petroleum sowie Erd- und Flüssiggas auf die Strukturelemente 931
19.1.3.2.3 Aktivitätsrate für Verdunstung 931
19.1.3.3 Ableitung der Emissionsfaktoren 931
19.1.3.3.1 Emissionsfaktoren aus TREMOD 931
19.1.3.3.2 Emissionsfaktoren für Biodiesel, Bio-Ethanol, Petroleum, Erd- und Flüssiggas 932
19.1.4 CO_2-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitakt-Ottomotoren 932
19.1.5 Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen 934
19.2 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Industrieprozesse (2) 937
19.3 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Landwirtschaft (3) 937
19.3.1 Schätzung der Emissionen zusätzlicher Tierkategorien 937
19.3.1.1 Tierplatzzahlen 938
19.3.1.2 CH_4-Emissionen aus der Verdauung 938
19.3.1.3 CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 939
19.3.1.4 N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 939

19.3.1.4.1 N-Ausscheidungen 939
19.3.1.4.2 Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 940
19.3.1.5 Indirekte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 940
19.3.1.6 Direkte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden 941
19.3.1.7 Indirekte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden 942
19.3.2 Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Weidegangdaten (CRF 3.B, 3.D) 943
19.4 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quell-/Senkenkategorie Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (4) 958
19.5 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Abfall und Abwasser (6) 958

20 Anhang 4: CO2-Referenzverfahren und Vergleich mit dem Sektoransatz 958
20.1 Vergleich der Ergebnisse des sektoralen und des Referenz-Ansatzes 958

21 Anhang 5: Überprüfung der Vollständigkeit und der potentiell nicht erfassten Quellen und Senken von Treibhausgasemissionen 962

22 Anhang 6: Zusatzinformationen als Bestandteil des NIR oder andere hilfreiche Referenzinformationen 964
22.1 Zusatzinformationen zur Inventarerstellung und zum Nationalen System 964
22.1.1 Festlegungen im Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung 964
22.1.2 Zusatzinformationen zum Qualitätssystem Emission 967
22.1.2.1 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung 967
22.1.2.1.1 Einführung 967
22.1.2.1.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung 967
22.1.2.1.3 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten 968
22.1.2.1.4 QK/QS Plan 968
22.1.2.1.5 Allgemeine Qualitätskontrolle 969
22.1.2.1.6 Quellgruppenspezifische Qualitätskontrolle 969
22.1.2.1.7 Verfahren zur Qualitätssicherung 970
22.1.2.1.8 Verfahren zur Berichterstattung 970
22.1.2.1.9 Dokumentation und Archivierung 970
22.1.2.1.10 Anlage 1: Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung im Umweltbundesamt 972
22.1.2.1.10.1 Einführung 972
22.1.2.1.10.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung 972
22.1.2.1.10.2.1 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten im UBA 972
22.1.2.1.10.2.2 Verfahren zur Berichterstattung 973
22.1.2.1.10.3 QK-Plan, QS-Plan und Inventarplan 975
22.1.2.1.10.4 Verfahren zur allgemeinen und kategoriespezifischen Qualitätskontrolle 977
22.1.2.1.10.5 Verfahren zur Qualitätssicherung 977
22.1.2.1.10.6 Dokumentation und Archivierung 978
22.1.2.1.11 Anhang 2: Beispiel einer allgemeinen Checkliste für die Rolle Fachverantwortlicher 979
22.1.3 Das Datenbanksystem Zentrales System Emissionen 982
22.1.4 Verification of the German Greenhouse Gas Inventory 983
22.1.4.1 Introduction 983
22.1.4.2 Methods and Materials 984
22.1.4.2.1 The EDGAR Inventory 986
22.1.4.2.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data 986
22.1.4.2.3 The Pollution Release and Transfer Register 986
22.1.4.2.4 The European Emission Trade Data 986
22.1.4.3 Analysis 987
22.1.4.3.1 The EDGAR Inventory 987
22.1.4.3.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data 987
22.1.4.3.3 The Pollution Release and Transfer Register 987
22.1.4.3.4 The European Emission Trade System 987
22.1.4.4 Results and Discussion 988
22.1.4.4.1 The EDGAR Inventory 989
22.1.4.4.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data 989
22.1.4.4.3 The Pollution Release and Transfer Register 990
22.1.4.4.4 The European Emission Trade System 990

22.2 Ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert 991
22.2.1 KP-LULUCF 991
22.2.2 Standard Electronic Format (SEF) Tabellen 991
22.2.2.1 Standard Electronic Format for the reported year 2020 (Commitment Period 2) 992
22.2.2.2 Discrepant transactions 1000
22.2.3 Detailliertere Informationen über das nationale System und Änderungen im nationalen System 1001
22.2.4 Weitere detaillierte Informationen zu den Nationalen Registern und der Buchführung der Kyoto-Einheiten 1001
22.3 Zusatzinformationen zu den Trends der Treibhausgase 1001
22.4 Rückrechnungen: detaillierte Betrachtung auf Grundlage von CRF Table 8 1010
22.4.1 Überblick für das Berichtsjahr 1990 1010
22.4.2 Überblick für das Berichtsjahr 2019 1013

23 Anhang 7: Unsicherheiten nach Kategorien 1017

24 Referenzen 1032

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgase in Deutschland seit 1990, nach Treibhausgasen' 70
Abbildung 2: Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Kategorien' 73
Abbildung 3: Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien' 74
Abbildung 4: Struktur des Nationalen Systems Emissionen (NaSE) 80
Abbildung 5: Übersicht über den Prozess der Emissionsberichterstattung 87
Abbildung 6: QSE - Rollen Aufgaben und Arbeitsabläufe 98
Abbildung 7: Steuerung und Dokumentation von QKQS-Maßnahmen 99
Abbildung 8: Verfahrensablauf für die jährliche Inventar-Verifikation mit ETS-Monitoring-Daten 102
Abbildung 9: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Energiebereich 103
Abbildung 10: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Industrieprozesse 106
Abbildung 11: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft 108
Abbildung 12: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und KP-LULUCF 109
Abbildung 13: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Abfall und Abwasser 110
Abbildung 14: Relative Entwicklung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas gegenüber 1990 138
Abbildung 15: Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und von SO_2 144
Abbildung 16: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 1 ' 146
Abbildung 17: Merkmale der UBA-Struktur der Bilanz der Emissionsursachen zur Disaggregierung der Energiebilanz 149
Abbildung 18: CO_2-Emissionen in Deutschland – Vergleich nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse 154
Abbildung 19: CO_2-Emissionen in Deutschland – Vergleich der relativen Abweichungen nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse 154
Abbildung 20: Treibhausgasemissionen des von Deutschland ausgehenden internationalen Flugverkehrs seit 1990 160
Abbildung 21: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des internationalen Seeverkehrs seit 1990 [a] 163
Abbildung 22: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.a 167
Abbildung 23: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.b 177
Abbildung 24: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.c 181
Abbildung 25: Entwicklung der CO2-Emissionen in Kategorie 1.A.2.a 187
Abbildung 26: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.f Non-Metallic Minerals 196
Abbildung 27: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.g viii Sonstige 200
Abbildung 28: Entwicklung der THG-Emissionen aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft seit 1990 203
Abbildung 29: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des nationalen zivilen Flugverkehrs seit 1990 208
Abbildung 30: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Straßenverkehrs seit 1990 215
Abbildung 31: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs, seit 1990 221
Abbildung 32: Entwicklung der THG-Emissionen nationalem Schiffsverkehr seit 1990 226
Abbildung 33: Änderung der Gesamtemission von 1.A.4 in Abhängigkeit von der Temperatur 235
Abbildung 34: Verlauf des Energieverbrauchs von 1.A.4 (stationär) nach 4 Brennstoffkategorien 236
Abbildung 35: Entwicklung der THG-Emissionen der betrachteten Teilsektoren seit 1990 242

Abbildung 36: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs innerhalb der betrachteten Teilsektoren seit 1990 243
Abbildung 37: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.5.a 248
Abbildung 38: Entwicklung der THG-Emissionen aus mobilen Quellen des Militärs seit 1990 250
Abbildung 39: Entwicklung des Kraftstoffeinsatzes seit 1990 251
Abbildung 40: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 2 290
Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO_2-Emissionen 336
Abbildung 42: NMVOC-Gesamtemissionen aus lösemittelbasierten Produkten und Anwendungen (2.D.3.a,d-i) 364
Abbildung 43: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 3 453
Abbildung 44: Logik der nationalen Methodik für die Emissionsberechnungen in der Tierhaltung am Beispiel der Milchkuh. („Leistungsindikator“ steht hier für die Summe aus leistungs- und erhaltungsbedingtem Bedarf.) 454
Abbildung 45: Konzept und thematische Inhalte des GAS-EM-Modells 455
Abbildung 46: Anteil der NUTS-3 Regionen am nationalen Mineraldüngeraufkommen im Mittel der Jahre 2014-2016. 481
Abbildung 47: Veränderungen in der Wirtschaftsdüngerausbringung zwischen 2015 und 2020 483
Abbildung 48: Darstellung der kreisweisen Berechnung von direkten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden. 519
Abbildung 49: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Unterkategorien 539
Abbildung 50: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Pools 539
Abbildung 51: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Treibhausgasen (GHG) 540
Abbildung 52: Relativer Kohlenstoffverlust ([%]; Unsicherheiten: 95 % - Konfidenzintervall [%]) humoser Oberbodenhorizonte infolge baubedingter Störungen, abgeleitet aus Response-Funktionen für Grünland bzw. Wald zu Ackerland (Poeplau et al., 2011) bei einer durchschnittlichen Bauzeit von 12 Monaten 552
Abbildung 53: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Obstanbauflächen sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant 569
Abbildung 54: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha-1] in Kompartimenten der Biomasse von Weingärten sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha-1] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant 571
Abbildung 55: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}]] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Baumschulen (SOC) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung und Ablauf der Betriebsdauer emissionsrelevant 573
Abbildung 56: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen (crox) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant 574

Abbildung 57: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Kurzumtriebsplantagen (SOC) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung und Ablauf der Betriebsdauer emissionsrelevant 576
Abbildung 58: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der Biomasse von Hecken/Gehölzen sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|); transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant 578
Abbildung 59: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Terrestrischen Feuchtgebieten (wet1) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant 579
Abbildung 60 Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Siedlungsflächen (set1) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant 581
Abbildung 61: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2020 nach Unterkategorien 617
Abbildung 62: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2020 nach Pools 617
Abbildung 63: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Phytomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012 und 2017 620
Abbildung 64: Holzeinschlag in Deutschland 621
Abbildung 65: Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse 627
Abbildung 66: Regression zwischen Kohlenstoffvorräten (0-30cm) der BZE II und der BZE I (links) sowie die identifizierten Ausreißer anhand der Residuen-Analyse durch Student-Residuen und den “high leverage“-Punkten (rechts) am Beispiel einer Leitbodeneinheit 636
Abbildung 67: Waldbrandflächen zwischen 1990 und 2020 (nach BLE, 2021) 640
Abbildung 68: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2020 nach Unterkategorien (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme) 659
Abbildung 69: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2020 nach Pools (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme) 659
Abbildung 70: Kohlenstoffeintrag [kt C] mittels organischen Dünger und Ernteresten in Ackerland 1990 - 2019 663
Abbildung 71: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2020, dargestellt nach Unterkategorien 679
Abbildung 72: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2020, dargestellt nach Pools 679
Abbildung 73: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990–2020, dargestellt nach Unterkategorien 680
Abbildung 74: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990-2020, dargestellt nach Pools 680

Abbildung 75: CO2-Emissionen [kt CO2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Feuchtgebieten von 1990-2020, dargestellt nach Unterkategorien 692
Abbildung 76: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus den Feuchtgebieten von 1990-2020, dargestellt nach Pools 692
Abbildung 77: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen von 1990 – 2020, dargestellt nach Unterkategorien 702
Abbildung 78: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen Deutschlands von 1990 – 2020, dargestellt nach Pools 702
Abbildung 79: Netto CO_2-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten [kt CO_2] 711
Abbildung 80: Kohlenstoffflüsse, Kohlenstoffspeicher und ihre CO_2-Emissionen und Einbindungen entlang der Forst- und Holzkette 712
Abbildung 81: In Deutschland produziertes Schnittholz und Holzwerkstoffe [Mm^3] (FAO, 2020) 713
Abbildung 82: Nationale Holzeinschlagstatistik und ihre Kalibrierung mittels Daten zum Derbholzverlust aus den Waldinventurdaten [Mfm] (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1) und Kapitel 6.4.2.1.1) 714
Abbildung 83: Entwicklung des heimischen Rohstofffaktors fDP(i) der berücksichtigten Rohstoffkategorien (FAO, 2020) 714
Abbildung 84: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 5 718
Abbildung 85: Die Veränderung der Entsorgungspfade der Siedlungsabfälle ab 1990, mit Zwischenjahren 720
Abbildung 86: Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls zwischen 1990 und 2013 725
Abbildung 87: Stoffstromschema Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung 776
Abbildung 88: Änderung der Gesamtemissionen über alle Kategorien gegenüber Submission 2021 783
Abbildung 89: Rückrechnung der Gesamtemission der einzelnen Treibhausgase über alle Quellgruppen gegenüber der Submission 2021 784
Abbildung 90: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 1990 787
Abbildung 91: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2019 788
Abbildung 92: Schema zur Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung 847
Abbildung 93: Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen 901
Abbildung 94: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Steinkohlenqualitäten 902
Abbildung 95: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten am Beispiel einer Rohbraunkohlequalität 903
Abbildung 96: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Klärschlämme 910
Abbildung 97: Methodik der Emissionsfaktorenberechnung 922
Abbildung 98: prozentuale Abweichungen der im Referenzverfahren erfassten jährlichen Gesamt-Aktivitätsraten von den Gesamtmengen gemäß sektoralem Ansatz 960
Abbildung 99: prozentuale Abweichungen der mit dem Referenzverfahren berechneten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen von den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes 961
Abbildung 100: Übersicht zum gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung 974
Abbildung 101: Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE 976
Abbildung 102: Time Slice Emission data for Germany from the CAMS data store 985
Abbildung 103: Time Slice Emission data for Germany from the EPRTR Database 988
Abbildung 104: Trend plots for CO_2 CH_4 and N_2O emission totals over the years 1990-2018 990

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 71
Tabelle 2: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 71
Tabelle 3: Global Warming Potential (GWP) der Treibhausgase 93
Tabelle 4: QSE - Rollen und Verantwortlichkeiten 96
Tabelle 5: Anzahl der Kategorien und Hauptkategorien 112
Tabelle 6: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz 114
Tabelle 7: Ergebnis der Hauptkategorienanalyse KP-LULUCF 116
Tabelle 8: Hauptkategorien für Deutschland, die sich nur aufgrund des Methode 2-Ansatzes ergeben 117
Tabelle 9: Inventarplan – offene Handlungsbedarfe 120
Tabelle 10: Inventarplan - erledigte Handlungsbedarfe/Verbesserungen 122
Tabelle 11: Übersicht Unsicherheiten Gesamtinventar 132
Tabelle 12: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO_2 in Deutschland seit 1990 136
Tabelle 13: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland seit dem jeweiligen Bezugsjahr (1990/1995) 136
Tabelle 14: Veränderungen der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr 142
Tabelle 15: Emissionen von 2020 für die KP-LULUCF-Aktivitäten Aufforstung und Entwaldung unter Artikel 3.3 und Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung unter Artikel 3.4. 145
Tabelle 16: Vergleich der CO_2-Inventare mit anderen unabhängigen nationalen und internationalen Ergebnissen 153
Tabelle 17: Vergleich der Ergebnisse der CO_2-Berechnungen der einzelnen Bundesländer mit den Bundesinventaren 156
Tabelle 18: jährliche Anteile der Auslandsflüge an den Kerosin- und Flugbenzin-Inlandsablieferungen, in % 160
Tabelle 19: revidierte jährliche Anteile an den Flugbenzin-Inlandsablieferungen, in Prozent 161
Tabelle 20: revidierte Treibstoffmengen, in Terajoule 161
Tabelle 21: revidierte THG-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten 162
Tabelle 22: revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule 164
Tabelle 23: revidierte Treibhausgas-Emissionen 2018, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten 165
Tabelle 24: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten 165
Tabelle 25: CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in öffentlichen Kraftwerken 170
Tabelle 26: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus GFA 172
Tabelle 27: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus Anlagen < 50 MW FWL 172
Tabelle 28: Methan-Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen ab 50 MW FWL und für Gasturbinen 172
Tabelle 29: Rückrechnungen CRF 1.A.1.a 175
Tabelle 30: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b 179
Tabelle 31: CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien 183
Tabelle 32: Rückrechnungen CRF 1.A.1.c 184
Tabelle 33: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.a 190
Tabelle 34: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.b 191
Tabelle 35: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.e 195
Tabelle 36: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.f 198
Tabelle 37: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii 202

Tabelle 38: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 204
Tabelle 39: Übersicht relevanter Datenvergleiche 204
Tabelle 40: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten, in kg/TJ 204
Tabelle 41: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ 205
Tabelle 42: revidierte Primäraktivitätsdaten 2019, in Terajoule 205
Tabelle 43: resultierende Revision der Aktivitätsdaten (ab 2004), in Terajoule 206
Tabelle 44: revidierte Emissionsmengen (ab 2004), in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten 206
Tabelle 45: jährliche Anteile der Inlandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in % 209
Tabelle 46: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 210
Tabelle 47: Übersicht relevanter Datenvergleiche 211
Tabelle 48: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten [a], in kg/TJ 211
Tabelle 49: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ 211
Tabelle 50: revidierte jährl. Anteile der Inlandsflüge an Treibstoff-Inlandsablieferungen, in % 211
Tabelle 51: resultierende Revision der Inlandsverbräuche, in Terajoule 212
Tabelle 52: revidierte Methan-Emissionsfaktoren 2019 im LTO-Zyklus, in kg / TJ 212
Tabelle 53: revidierte THG-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten 212
Tabelle 54: Emissionen des Straßenverkehrs, in Kilotonnen 216
Tabelle 55: Übersicht relevanter Datenvergleiche 218
Tabelle 56: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten, in kg/TJ 218
Tabelle 57: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ 218
Tabelle 58: revidierte Energieeinsätze 2019, in Terajoule 219
Tabelle 59: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten 219
Tabelle 60: Überblick der verwendeten Statistiken und sonstigen Quellen 222
Tabelle 61: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 222
Tabelle 62: Übersicht relevanter Vergleiche 223
Tabelle 63: Vergleich der verwendeten EF (CO_2) mit Default-Werten [a], in kg/TJ 223
Tabelle 64: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ 223
Tabelle 65: Korrektur der Kraft- und Brennstoffeinsätze, in Terajoule 224
Tabelle 66: korrigierte Emissionsfaktoren für Methan aus Dieselkraftstoffen, in kg/TJ 224
Tabelle 67: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalente 225
Tabelle 68: Quellennachweis für die verwendeten Aktivitätsdaten 227
Tabelle 69: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 228
Tabelle 70: Übersicht relevanter Datenvergleiche 229
Tabelle 71: Vergleich der für das Berichtsjahr 2020 verwendeten EF(CO_2) mit IPCC-Default-Werten 229
Tabelle 72: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ 229
Tabelle 73: revidierte Energieeinsätze, in Terajoule 230
Tabelle 74: revidiertEmissionsfaktoren, in kg/TJ 231
Tabelle 75: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten 231
Tabelle 76: Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher für das Bezugsjahr 2010 239
Tabelle 77: Emissionsberechnung mit landesspezifischen Tier 2/3 Emissionsfaktoren und mit den Tier 1 Default-Emissionsfaktoren nach IPCC (2006b) 241
Tabelle 78: Rückrechnungen in CRF 1.A.4 stationär 241
Tabelle 79: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 244
Tabelle 80: Übersicht relevanter Datenvergleiche 244
Tabelle 81: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) mit default-Werten[*] 245
Tabelle 82: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ 245
Tabelle 83: revidierte Primäraktivitätsdaten, in Terajoule 246
Tabelle 84: revidierte Energieeinsätze der Teilsektoren, in Terajoule 246

Tabelle 85: revidierte Emissionsmengen, in Kilotonnen CO_2-Äquivalenten 247
Tabelle 86: Sektorale Emissionsfaktoren für das Militär 249
Tabelle 87: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 252
Tabelle 88: Übersicht relevanter Datenvergleiche 252
Tabelle 89: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default- Werten, in kg/TJ 252
Tabelle 90: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ 253
Tabelle 91: revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule 253
Tabelle 92: revidierte Emissionsdaten, in kt CO_2-Äquivalenten 254
Tabelle 93: Förderung von Braunkohle, in Mio. t. 256
Tabelle 94: Emissionsfaktoren der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau 256
Tabelle 95: Emissionen der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau 256
Tabelle 96: IEF Vergleich mit Nachbarländern für die übertägige Produktion von Braunkohle (nach NIR 2014) 257
Tabelle 97: Aktivitätsraten der Veredelungsprodukte [Angaben in Tonnen] 258
Tabelle 98: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Steinkohlenkoks 258
Tabelle 99: Emissionen der Kategorie 1.B.1.b – Umwandlung von festen Brennstoffen 259
Tabelle 100: Anzahl der Explorationsbohrungen (Öl und Erdgas insgesamt) 261
Tabelle 101: Bohrleistung der Explorationsbohrungen in m (Öl und Erdgas insgesamt) 261
Tabelle 102: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.i 261
Tabelle 103: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.i 262
Tabelle 104: Fördermenge Erdöl in kt 263
Tabelle 105: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung und Aufbereitung 263
Tabelle 106: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.ii 263
Tabelle 107: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 264
Tabelle 108: Transport von im Inland produziertem Rohöl in kt 264
Tabelle 109: Transport von importiertem Rohöl in kt 264
Tabelle 110: Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen in kt 264
Tabelle 111: Verwendete Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.iii „Transport von Rohöl“ 265
Tabelle 112: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iii 265
Tabelle 113: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 266
Tabelle 114: Verarbeitete Menge an Rohöl in kt 266
Tabelle 115: Auslastungsgrad der Raffinerien in Prozent 266
Tabelle 116: Rohöldestillationskapazität in Raffinerien, in kt 267
Tabelle 117: Lagerkapazität von Tanklagern in Raffinerien und Pipelineterminals, in Mio m^3 267
Tabelle 118: Lagerkapazität von raffineriefernen Tanklagern inklusive Kavernen, in Mio m^3 267
Tabelle 119: Lagerkapazität von Kavernen, in Mio m^3 267
Tabelle 120: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.vi „Diffuse Emissionen in Raffinerien“ 267
Tabelle 121: Verwendeter Emissionsfaktor für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Anodenherstellung in Raffinerien“ 267
Tabelle 122: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung und Reinigung von Rohöl in Tanklagern von Raffinerien“ 267
Tabelle 123: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten (Brennstoffe) in raffineriefernen Tanklagern“ 267
Tabelle 124: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iv 268
Tabelle 125: Tankstellenbestand in Deutschland, Anzahl 269
Tabelle 126: Verteilte Mengen an Mineralölprodukten, in kt 269
Tabelle 127: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Ottokraftstoffen“ 270

Tabelle 128: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Dieselkraftstoffen“ ... 270
Tabelle 129: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von leichtem Heizöl“ ... 270
Tabelle 130: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Flugturbinenkraftstoffen“ ... 270
Tabelle 131: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Reinigung“ ... 270
Tabelle 132: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.v ... 271
Tabelle 133: Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen ... 272
Tabelle 134: Fördermenge Erdgas in Mrd m^3 ... 274
Tabelle 135: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung ... 274
Tabelle 136: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.ii ... 274
Tabelle 137: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten ... 275
Tabelle 138: Schwefelproduktion aus der Erdgasgewinnung in Deutschland in kt ... 276
Tabelle 139: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iii „Aufbereitung“ ... 276
Tabelle 140: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iii ... 276
Tabelle 141: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten ... 277
Tabelle 142: Kohlendioxid- Emissionsfaktorvergleich (2017) ... 277
Tabelle 143: Länge der Hochdruckfernleitungen, in km ... 278
Tabelle 144: Unterirdische Gasspeichervolumina in Mrd. m^3 ... 278
Tabelle 145: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“ ... 278
Tabelle 146: Verwendete Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“ ... 279
Tabelle 147: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv ... 279
Tabelle 148: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten ... 280
Tabelle 149: Gasverteilungsnetz, Angaben in km ... 280
Tabelle 150: Anzahl Erdgasfahrzeuge in Deutschland ... 280
Tabelle 151: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v ... 281
Tabelle 152: Verwendete Kohlendioxid- Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v ... 281
Tabelle 153: Emissionen und Trend der Kategorie 1.B.2.b.v ... 281
Tabelle 154: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten ... 282
Tabelle 155: Verwendete Aktivitätsraten für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“ ... 283
Tabelle 156: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“ ... 283
Tabelle 157: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.vi ... 283
Tabelle 158: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten ... 284
Tabelle 159: Verarbeitete Rohölmenge, in Mio. t ... 285
Tabelle 160: abgefackeltes Erdgas, in Mio. m^3 ... 285
Tabelle 161: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen bei der Erdgasförderung“ ... 285
Tabelle 162: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Erdölförderanlagen“ ... 285
Tabelle 163: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Normalbetrieb“ ... 286
Tabelle 164: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Störung“ ... 286
Tabelle 165: Emissionen der Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“ ... 286

Tabelle 166: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 287
Tabelle 167: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 – NMVOC-Emissionen in kt 289
Tabelle 168: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Methanemissionen in kt 289
Tabelle 169: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Kohlendioxidemissionen in kt 289
Tabelle 170: Produktion und rohstoffbedingte CO_2-Emissionen der deutschen Zementindustrie 291
Tabelle 171: Produktion und CO_2-Emissionen der deutschen Kalkindustrie 294
Tabelle 172: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissonen seit 1990, IEF über alle Glasarten 298
Tabelle 173: Glas: Aktivitätsraten der einzelnen Branchensektoren (Glassorten) 299
Tabelle 174: Scherbenanteil der einzelnen Glassorten 299
Tabelle 175: CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (berechnet im Vergleich mit Angaben der IPCC Guidelines 2006 300
Tabelle 176: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissionen der keramischen Industrie (CRF 2.A.4.a), seit 1990 302
Tabelle 177: CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene keramische Produktgruppen 305
Tabelle 178: Aktivitätsraten und nutzungsbedingte CO_2-Emissonen außerhalb der Glasindustrie seit 1990 307
Tabelle 179: In Deutschland verwendete Emissionsfaktoren für sonstige Schadstoffe 328
Tabelle 180: Meldenummern der Produktionsstatistik 328
Tabelle 181: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 2.B.10 „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“ 333
Tabelle 182: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 2.B.10 „Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“ 333
Tabelle 183: CO_2-Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (einschließlich Gichtgasnutzung) 336
Tabelle 184: Kalksteineinsatz sowie Eigenerzeugung von Branntkalk in der Stahlindustrie und daraus resultierende CO_2-Emissionen 338
Tabelle 185: Insgesamt unter 2.C.1 zu berichtende prozessbedingte Emissionen 339
Tabelle 186: AR und prozessbedingte EF der Primäraluminiumproduktion im Jahr 2013 344
Tabelle 187: sortengruppenspezifische Emissionsfaktoren für Schmierstoffe, in Prozent 353
Tabelle 188: Umgang mit Kategorien der BAFA-Statistik 1990-1994 354
Tabelle 189: Übersicht der verwendeten spezifischen Mitverbrennungsanteile 355
Tabelle 190: Kohlendioxid aus unbeabsichtigt in mobilen Nicht-Zweitaktmotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen 355
Tabelle 191: revidierte Mengen stationär eingesetzter Schmiermittel, in Kilotonnen 356
Tabelle 192: revidierte CO_2-Emissionen aus stationärer Anwendung, in Kilotonnen 356
Tabelle 193: revidierte ungewollt mitverbrannte Mengen, in Terajoule 356
Tabelle 194: revidierte CO_2-Emissionen aus ungewollter Mitverbrennung, in Kilotonnen 356
Tabelle 195: revidierte CO_2-Emissionen aus stationärer und mobiler Anwendung, in Kilotonnen 357
Tabelle 196: Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen und dazugehörige AR und EF 367
Tabelle 197: Emissionsfaktoren bei der Herstellung Asphaltmischgut 369
Tabelle 198: modellierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen 370
Tabelle 199: aus dem Einsatz von AdBlue® resultierende CO_2-Emissionen, in Kilotonnen 370
Tabelle 200: revidierte jährliche Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge, in Terajoule 371
Tabelle 201: revidierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen 371
Tabelle 202: revidierte CO_2-Emissionen, in Kilotonnen 371
Tabelle 203: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in der Kategorie 2.F.1 – *Kälte- und Klimaanlagen*. 378

Tabelle 204: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.F.2 (Schaumherstellung), 2.F.3 (Feuerlöschmittel), 2.F.4 (Aerosole), 2.F.5 (Lösemittel) und 2.F.6 (Andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden) 379
Tabelle 205: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von FKW-116, FKW-218, HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a, HFKW-227ea, HFKW-23 und HFKW-32 in der Unterquellgruppe Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1) in den ahren 2006 bis 2019 404
Tabelle 206: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterquellgruppe Schaumherstellung (2.F.2) in den Jahren 2005 bis 2019..... 412
Tabelle 207: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.G.1 (Elektrische Betriebsmittel), 2.G.2 (SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung) und 2.G.4 (ORC-Anlagen, Containerbegasung & Anwendung von Holzkohle)..... 421
Tabelle 208: Inventardaten 2020 der Kategorie 2.G.1 mit Unterkategorien 424
Tabelle 209: SF_6-Bestand in Teilchenbeschleunigern in 5 Anwendungssektoren ab 1995, in t..... 427
Tabelle 210: SF_6-Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in t 428
Tabelle 211: SF_6-Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern in fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in % des SF_6-Bestands..... 428
Tabelle 212: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von HFKW-245fa in der Unterquellgruppe ORC-Anlagen (2.G.4) in den Jahren 2018 und 2019 442
Tabelle 213: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Zellstoff. (deutscher Beitrag zur Revision des BVT-Merkblattes für die Papier und Zellstoffindustrie 2007 (Spörl, 2009)) 446
Tabelle 214: Zellstoff- und Papierherstellung, produzierte Mengen 447
Tabelle 215: Umgerechnete Aktivitätsdaten der Spanplattenindustrie 447
Tabelle 216: Überblick über freiwillig berichtete fluorierte Treibhausgase, ihre Treibhausgaspotenziale (GWP) und ihre Anwendungsbereiche 450
Tabelle 217: Aggregierte Emissionen der nicht berichtspflichtigen fluorierten Treibhausgase HFCKW-1233zd, HFKW-1234yf, HFKW-1234ze, HCFE-235da2, HFE-236ea2, HFE-347mmz1, PFPE/PFPMIE und SO_2F_2 451
Tabelle 218: CRF-Tierkategorien und die für die deutsche Emissionsberichterstattung verwendete Unterteilung (3.A, 3.B) 457
Tabelle 219: Zahl der in die deutsche Berichterstattung eingehenden Tierplätze (3.A, 3.B) in 1.000..... 462
Tabelle 220: Mittlere Tiergewichte (3.A, 3.B) 464
Tabelle 221: Mittlere tägliche Milchleistung bei Milchkühen (3.A)..... 465
Tabelle 222: Mittlere tägliche Gesamtenergie-Aufnahme (GE) (3.A) 465
Tabelle 223: Beschreibung der Trockenmasse- Aufnahme in Vos et al. (2022)..... 466
Tabelle 224: Tägliche Trockenmasseaufnahme..... 466
Tabelle 225: Verdaulichkeit von organischer Substanz im Futter (3.A) 466
Tabelle 226: Aschegehalt des Futters 466
Tabelle 227: Beschreibung der N- Ausscheidung in Vos et al. (2022)..... 467
Tabelle 228: N-Ausscheidungen pro Tierplatz und Jahr (3.B(b)) 468
Tabelle 229: Jährliche N-Ausscheidungen, aufgeteilt nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b)) und Weidegang (3.D)..... 468

Tabelle 230: Tägliche VS-Ausscheidung für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (3.B(a)) ... 469
Tabelle 231: Tägliche VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde (3.B(a)) ... 469
Tabelle 232: Güllebasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 470
Tabelle 233: Strohbasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 470
Tabelle 234: Tiefstreu ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 470
Tabelle 235: Alle Systeme mit Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 470
Tabelle 236: Weide, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 470
Tabelle 237: Jahressummen des N-Eintrags durch Einstreu in strohbasierten Systemen ... 470
Tabelle 238: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o (3.B(b)) ... 471
Tabelle 239: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o für Geflügel (3.B(b)) ... 471
Tabelle 240: Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für Rinder (3.B(a)) ... 472
Tabelle 241: Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für Schweine (3.B(a)) ... 472
Tabelle 242: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für güllebasierte Systeme ohne Vergärung (3.B(a)) ... 472
Tabelle 243: Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel (3.B(a)) ... 473
Tabelle 244: Relative Anteile des in die Vergärung gehenden Wirtschaftsdüngers (in % der ins Lager gehenden N-Mengen) für die Tierkategorien mit Wirtschaftsdüngervergärung sowie im gewichteten Mittel für die gesamte Nutztierhaltung ... 474
Tabelle 245: Methan-Umwandlungsfaktoren für das Vorlager (in Prozent von B_o) ... 474
Tabelle 246: Anteile der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der in Biogasanlagen eingesetzten N-Mengen) ... 475
Tabelle 247: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Wirtschaftsdüngersysteme mit Vergärung (3.B(a)) ... 475
Tabelle 248: Berechnung der N_2O-Emissionen aus der Vergärung ... 476
Tabelle 249: N_2O-N-Emissionsfaktoren für Vorlager und Gärrestelager ... 476
Tabelle 250: Gesamte Trockenmasse der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen ... 478
Tabelle 251: Gesamte VS-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen ... 478
Tabelle 252: Gesamte N-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen ... 478
Tabelle 253: Anteil der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der zur Vergärung eingesetzten Frischmasse) ... 479
Tabelle 254: N-Mengen, die der Berechnung der direkten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zugrunde liegen (3.D) ... 479
Tabelle 255: Berechnung der N-Mengen im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger (einschließlich Wirtschaftsdünger-Gärreste) (3.D) ... 481
Tabelle 256: Flächen der bewirtschafteten organischen Böden (3.D) ... 484
Tabelle 257: Sektoren 3.B und 3.J: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO ... 484
Tabelle 258: Sektor 3.D: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO ... 484
Tabelle 259: Ausgewaschene N-Menge (incl. Oberflächenabfluss) (3.D) ... 485
Tabelle 260: Düngekalkmengen (3.G & 3.I) ... 486
Tabelle 261: Ausgebrachte Harnstoffmengen einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (3.H) ... 486
Tabelle 262: Eingangsdaten für die Berechnung von NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen (Übersicht) ... 486
Tabelle 263: Gesamtunsicherheitsberechnung für die Emissionen des Sektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden) incl. Energiepflanzen-Vergärung ... 488

Tabelle 264: CH_4-Emissionen aus der Verdauung in der gesamten landwirtschaftlichen Tierhaltung (3.A): Veränderung seit 1990 und Anteile an den Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft (getrennt nach CH_4 und THG (CO_2)) (3.A) 493
Tabelle 265: Milchkühe: Milchleistung, GE-Aufnahme, verdauungsbedingte CH_4-Emission und Methanumwandlungsfaktor (3.A) 494
Tabelle 266: Methan-Umwandlungsfaktoren für übrige Rinder (3.A) 494
Tabelle 267: Methan-Umwandlungsfaktoren für Schweine (Dämmgen et al., 2012c) (3.A) 495
Tabelle 268: Beschreibung der CH_4-Berechnung für Verdauung in Vos et al. (2022) 495
Tabelle 269: Tierplatzbezogene CH_4-Emissionsfaktoren, Verdauung (3.A) 495
Tabelle 270: Tier-1-Emissionsfaktoren für CH_4 aus der Verdauung bei Schafen, Ziegen und Pferden (3.A) 496
Tabelle 271: CH_4-Emissionen aus der Verdauung (3.A) 496
Tabelle 272: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2019 497
Tabelle 273: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei übrigen Rindern und Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2019 498
Tabelle 274: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten mittleren täglichen Gesamtenergie-Aufnahme für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) 498
Tabelle 275: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten tierplatzbezogenen CH_4-Emissionsfaktoren (Verdauung) für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) .. 499
Tabelle 276: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten CH_4-Emissionen (Verdauung) für alle Säugetiere, Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) 499
Tabelle 277: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Index: MM) seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH_4, N_2O, THG und NMVOC 501
Tabelle 278: Tierplatzbezogene CH_4-Emissionsfaktoren, Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)) 502
Tabelle 279: CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management(3.B(a)) 502
Tabelle 280: CH_4 aus Wirtschaftsdünger-Management (Milchkühe, übrige Rinder, Schweine), prozentuale Beiträge zu CH_4 insgesamt aus Wirtschaftsdünger-Management, und Emissionsverhältnis Rinder : Schweine 502
Tabelle 281: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der CH_4-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negatives Vorzeichen: Emissionsminderung) 503
Tabelle 282: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Zeitreihenjahr 2019 504
Tabelle 283: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei übrigen Rindern verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2019 504
Tabelle 284: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter Parameter für das Jahr 2019 505
Tabelle 285: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Geflügel verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2019 506
Tabelle 286: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten VS-Ausscheidungen (3.B(a)) 506

Tabelle 287: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten tierplatzbezogenen CH_4-Emissionsfaktoren für das Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)) 507
Tabelle 288: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)) 507
Tabelle 289: NMVOC: Im Inventar verwendete Tier-1- Emissionsfaktoren nach EMEP/EEA (2019) 508
Tabelle 290: NMVOC: Im Inventar berechneten Tier-2- Emissionsfaktoren (IEF) 508
Tabelle 291: NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 509
Tabelle 292: Prozentuale Beiträge zu den NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 509
Tabelle 293: Vergleich der NMVOC-Emissionen zwischen NIR 2022 und NIR 2021 für Milchkühe und übrige Rinder 510
Tabelle 294: Emissionsfaktoren für Emissionen von N_2O-N aus dem Wirtschaftsdünger-Management, ohne Vergärung (bezogen auf die Summe von ausgeschiedenem N und Einstreu-N) (3.B(b)) 511
Tabelle 295: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b)) 512
Tabelle 296: Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (MM) insgesamt und nach Systemkategorien (3.B(b)) 513
Tabelle 297: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der direkten N_2O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negative Werte: Emissionsminderung) 513
Tabelle 298: NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 513
Tabelle 299: N-Ausscheidung pro Tierplatz für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Zeitreihenjahr 2019 514
Tabelle 300: IEFs der direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Jahr 2019 515
Tabelle 301: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten direkten Gesamt-N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 515
Tabelle 302: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten Gesamt-N-Ausscheidungen (siehe Kapitel 5.1.3.4) 516
Tabelle 303: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten Gesamt-NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 516
Tabelle 304: Tierspezifische Details zu NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager in Vos et al. (2022) 517
Tabelle 305: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2022 und 2021) 517
Tabelle 306: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von N_2O und THG 519
Tabelle 307: N_2O-N Emissionsfaktoren für N-Einträge auf Böden, nach (Mathivanan et al., 2021) 520
Tabelle 308: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Böden 521
Tabelle 309: NMVOC-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Kulturen 523
Tabelle 310: $Frac_{GASF}$-Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D) 523
Tabelle 311: $Frac_{GASM}$-Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D) 524
Tabelle 312: Übersicht über die N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D) . 524
Tabelle 313: N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Prozentuale Beiträge der Teilquellen 525

Tabelle 314: NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden 525
Tabelle 315: NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen 525
Tabelle 316: Vergleich der deutschen N_2O-N-Emissionsfaktoren mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2019 526
Tabelle 317: Vergleich der deutschen Frac-Größen mit denen benachbarter Staaten, Zeitreihenjahr 2019 527
Tabelle 318: Gesamt-N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Submission 2021 und 2020 (3.D) 528
Tabelle 319: Veränderung von Submission 2021 zu Submission 2022 für die gesamten N_2O-Emissionen (direkt und indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2021 zu Submission 2022) 528
Tabelle 320: Vergleich der gesamten NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D) 529
Tabelle 321: Veränderung von Submission 2021 zu Submission 2022 für die NO-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2021 zu Submission 2022) 529
Tabelle 322: Vergleich der NMVOC-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D) 529
Tabelle 323: Prozentuale Veränderung der Summe der CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den THG-Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft 530
Tabelle 324: CO_2-Emissionen aus der Düngekalkung (3.G, 3.I) 531
Tabelle 325: CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung (3.H) 531
Tabelle 326: Vergleich der deutschen CO_2 -IEF-Werte mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2019 532
Tabelle 327: CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I) 533
Tabelle 328: Prozentuale Anteile der Emissionen aus der Energiepflanzenvergärung (Fermenter + Gärrestlager; Index: EC) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH_4, N_2O und THG 534
Tabelle 329: CH_4-Emissionsfaktor für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte Trockenmasse 534
Tabelle 330: CH_4-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) 534
Tabelle 331: Effektiver N_2O-N-Emissionsfaktor für direkte N_2O-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte N-Menge 535
Tabelle 332: N_2O-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten 535
Tabelle 333: NO-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten 535
Tabelle 334: Vergleich der THG-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) zwischen Submission 2022 und 2021 (3.J) 536
Tabelle 335: Zuordnung der deutschen Berichtskategorien zu den IPCC-Landnutzungskategorien 541
Tabelle 336: Mittlere Kohlenstoffvorräte in Mineralböden Deutschlands in Abhängigkeit von der Landnutzung [t C ha^{-1}] sowie daraus abgeleitete Kohlenstoffvorratsunterschiede nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020 545
Tabelle 337: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Ermittlung jährlicher Kohlenstoffvorratsunterschiede in Mineralböden Deutschlands nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020 547

Tabelle 338: Mittlerer Kohlenstoffvorrat [bis 30 cm Bodentiefe in t C ha^{-1} ± 1,96 * Standardfehler] in den mineralischen Waldböden 549
Tabelle 339: Mittlerer flächenbezogener Mineralbodenkohlenstoffvorrat bis 30 cm Bodentiefe [t C ha^{-1} 30cm^{-1}] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke in %) für Ackerflächen mit annuellen Kulturen 549
Tabelle 340: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und dessen Unsicherheiten (%) für Grünland- und Gehölzflächen bis 30 cm Bodentiefe 550
Tabelle 341: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoff- [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und Stickstoffvorrat [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}] von Mineralböden auf Siedlungsflächen ohne ($SOC_{Ini_prev_1990}$ bzw. $N_{Ini_prev_1990}$) und mit Versiegelungskorrektur ($SOC_{min_set_1990}$ bzw. $N_{min_set_1990}$) und deren Unsicherheiten [%] 555
Tabelle 342: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] und dessen Unsicherheiten (%) in Mineralböden von Terrestrischen Feuchtgebieten bis 30 cm Bodentiefe 555
Tabelle 343: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke [%]) in Mineralböden von Sonstigem Land bis 30 cm Bodentiefe 556
Tabelle 344: Flächen organischer Böden und der Entwässerungsgräben nach Landnutzungskategorien für das Jahr 2020 559
Tabelle 345: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) und deren Unsicherheiten (95%-Perzentile) für CO_2-onsite + DOC, CH_{4_land} + CH_{4_ditch} und N_2O-onsite aus organischen Böden Deutschlands (4.A - 4.E; 4(II)) für das Jahr 2020 561
Tabelle 346: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Biomasse annueller Kulturen auf Acker- und Gartenbauland 564
Tabelle 347: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] von Grünland im engeren Sinne (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) 564
Tabelle 348: Gehölz Landnutzungskategorien mit perennierenden Gehölzkulturen außerhalb des Waldes, deren Kompartimente und Umtriebszyklen [a] 565
Tabelle 349: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)] der Biomasse von Hopfenkulturen, Zwischenfrüchten und deren Summe nach Portner et al. (2019) 577
Tabelle 350: Zeitreihe der mittleren Kohlenstoffvorräte ± Hälfte des 95 %-Konfidenzintervalls der Biomasse von Entwaldungsflächen [t C ha^{-1}] 582
Tabelle 351: Implizite Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020 584
Tabelle 352: Implizite Emissionsfaktoren für indirekte Lachgasemissionen [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020 585
Tabelle 353: Unterteilung der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete gemäß 2006 IPCC Guidelines sowie Zuordnung der Gewässer- und terrestrischen Feuchtgebietsflächen [ha] Deutschlands in die entsprechenden Unterkategorien für das Jahr 2020. 593
Tabelle 354: Zuordnung von Hauptobjektartenschlüsselnummern und Attributen des ATKIS® zu den IPCC-Landnutzungskategorien 598
Tabelle 355: Basistabelle zur Ableitung der Landnutzungen 602
Tabelle 356: Kodierungen in der Basistabelle 602
Tabelle 357: Wahrscheinlichste Landnutzung (LU) und deren Datenquelle (DB) 603

Tabelle 358: Flächen der Landnutzungskategorien und ihrer Übergänge inklusive 20-jähriger Transition Time nach der Konventionsberichterstattung 605
Tabelle 359: Landnutzungsmatrix 2020. Die Diagonale zeigt die Fläche in verbleibender Nutzung, die anderen Felder die jeweiligen Landnutzungsänderungen (einschließlich 20-jähriger Übergangszeiten) 606
Tabelle 360: Jährliche Flächen der Landnutzungsänderungen, die den Berechnungen für das Inventar nach Koventionsberichterstattung (20-jährige Übergangszeit) und Kyoto Protokoll (kumulative Flächenänderung) zugrunde liegen. 607
Tabelle 361: Prozentuale Verteilung der Flächen landwirtschaftlicher Landnutzung nach Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE), Basis-Digitalem Landschaftsmodell des ATKIS® (B-DLM) und der Agrarstrukturerhebung (ASE). 615
Tabelle 362: Emissionen im Waldbereich für das Jahr 2020 616
Tabelle 363: Emissionsfaktoren der verbleibenden Waldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse 621
Tabelle 364: EF für die Neuwaldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse 622
Tabelle 365: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume >= 10 cm BHD 624
Tabelle 366: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume >= 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD ... 624
Tabelle 367: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume < 1,3 m Höhe 624
Tabelle 368: Wurzelprozent und Raumdichten zur Konvertierung der Datenspeicher Waldfonds-Daten 625
Tabelle 369: Volumensexpansionsfaktoren zur Konvertierung von Derbholzvolumen + unterirdischem Volumen zum Baumholzvolumen der Datenspeicher Waldfonds-Daten 625
Tabelle 370: Koeffizienten, Parameter, Unsicherheiten und Quellen für die verwendeten Biomassefunktionen, unterteilt nach Baumarten 626
Tabelle 371: Biomasse Expansionsfaktoren (BEF) und deren Fehler (RMSE%) für die Baumartenklassen und Zersetzungsgrade (NDH = Nadelbäume, LBH = Laubbäume, EI = Eiche) 631
Tabelle 372: Totholzemissionsfaktoren für verbleibende Waldflächen 631
Tabelle 373: Totholzemissionsfaktoren für Neuwaldflächen 632
Tabelle 374: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für Streu der Landnutzungskategorien zu Neuwald 632
Tabelle 375: In den Inventuren BZE I und BZE II ermittelte Kohlenstoffvorräte in der Streu mit Angabe des Standardfehlers (Grüneberg et al., 2014) 633
Tabelle 376: Zusammengefasste Legendeneinheiten auf Grundlage der BÜK 1000 635
Tabelle 377: Kohlenstoffvorräte zum Zeitpunkt der BZE I und BZE II in den neugebildeten Leitbodeneinheiten (Grüneberg et al., 2014) 638
Tabelle 378: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für organische Böden 638
Tabelle 379: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Methan und Stickstoff) für organische Böden 639
Tabelle 380: Durch Waldbrände emittierte Treibhausgase 641
Tabelle 381: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden 643
Tabelle 382: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Aufforstungsflächen für unterschiedliche Perioden 644
Tabelle 383: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Entwaldungsflächen für unterschiedliche Perioden 644
Tabelle 384: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz für unterschiedliche Perioden 646
Tabelle 385: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 650

Tabelle 386: Kohlenstoffvorratsveränderung des Totholzes in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 650
Tabelle 387: Kohlenstoffvorratsveränderung der Streu in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 651
Tabelle 388: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 651
Tabelle 389: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 652
Tabelle 390: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Landnutzungsmatrix 654
Tabelle 391: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Emissionen (in [kt CO2-eq]) 654
Tabelle 392: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Emissionenfaktoren für Totholz (in [t C/ha]) 654
Tabelle 393: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Emissionenfaktoren für Biomasse (in [t C/ha]) 654
Tabelle 394: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus dem Ackerland 2020. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls 656
Tabelle 395: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem annuellen Ackerland Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5 %-Perzentil [%] der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 666
Tabelle 396: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Hopfenanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 667
Tabelle 397: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha-1 a-1] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Weinanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 668
Tabelle 398: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Obstanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 669
Tabelle 399: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Sonstige Ackerkulturenperennierend (Summe aus Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen) Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 670
Tabelle 400 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus den Weihnachtsbaumkulturen Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 671

Tabelle 401 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus den Kurzumtriebsplantagen Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020 672
Tabelle 402: Implizite Emissionsfaktoren für organischen Böden unter Ackerland [t CO2-Eq. ha^{-1} a^{-1}] sowie deren Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) für das Jahr 2020 673
Tabelle 403: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 674
Tabelle 404: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 674
Tabelle 405: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 675
Tabelle 406: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 675
Tabelle 407: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Ackerlandkategorie 676
Tabelle 408: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO2-eq] aus der Kategorie Ackerland der aktuellen und der Vorjahressubmission 676
Tabelle 409: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus dem Grünland 2020, unterschieden nach Unterkategorien. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls 677
Tabelle 410: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2020 aus Grünland i. e. S. 683
Tabelle 411: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Grünland i. e. S. im Jahr 2020 684
Tabelle 412: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2020 aus Gehölzflächen 685
Tabelle 413: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Gehölze im Jahr 2020 686
Tabelle 414: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 687
Tabelle 415: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 687
Tabelle 416: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 688
Tabelle 417: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 688
Tabelle 418: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Grünlandkategorie 689
Tabelle 419: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq] aus der Kategorie Grünland der aktuellen und der Vorjahressubmission 689
Tabelle 420: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus Feuchtgebieten Deutschlands 2020. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranken der 95 % - Konfidenzintervalle 690
Tabelle 421: Torfabbau: $IEF_{off\text{-}site}$ [t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}] und off-site Emissionen [kt CO_2-Eq.] 694
Tabelle 422: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus terrestrischen Feuchtgebieten 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien 695

Tabelle 423: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Gewässern 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien 696
Tabelle 424: Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Torfabbau 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien 697
Tabelle 425: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Feuchtgebiete und Torfabbau im Jahr 2020 .. 698
Tabelle 426: Kohlenstoffvorratsveränderung verschiedener Pools in Wetland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 699
Tabelle 427: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Feuchtgebiete 700
Tabelle 428: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq] aus der Kategorie Feuchtgebiete der aktuellen und der Vorjahressubmission 700
Tabelle 429: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus Siedlungsflächen 2020. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls 701
Tabelle 430: Implizite Emissionsfaktoren und Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Siedlungs- und Verkehrsflächen 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien 704
Tabelle 431: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Siedlungen im Jahr 2020 705
Tabelle 432: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 706
Tabelle 433: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 706
Tabelle 434: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 707
Tabelle 435: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019) 707
Tabelle 436: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Siedlungen (4.E) 708
Tabelle 437: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq] aus der Kategorie Siedlungen (4.E) der aktuellen und der Vorjahressubmission 709
Tabelle 438: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Sonstiges Land 710
Tabelle 439: Jährlicher Anteil des Einschlags aus verbleibender Waldfläche 715
Tabelle 440: Gegenüberstellung der HWP Netto-CO_2-Emissionen in den Submissionen 2021 und 2022 717
Tabelle 441: Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, nach Abfallfraktionen 726
Tabelle 442: Pro-Kopf-Mengen an deponierten Hausmüll 726
Tabelle 443: Pro-Kopf Mengen an Siedlungsabfall 726
Tabelle 444: Verwendete DOC-Werte 728
Tabelle 445: Anteil CH_4 am Deponiegas 728
Tabelle 446: Halbwertszeiten und konstante Methanerzeugungsrate der Abfallfraktionen 730
Tabelle 447: Methanfassung auf Deponien 731
Tabelle 448: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Kompostierung 737
Tabelle 449: Rückrechnungen CRF 5.B.1 738
Tabelle 450: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Vergärung 742
Tabelle 451: Rückrechnungen CRF 5.B.2 742

Tabelle 452: Tatsächliche Anzahl der Kremierungen 743
Tabelle 453: Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen nach Anhang 1 der Abwasserverordnung 745
Tabelle 454: Einwohner Deutschland gesamt und mit Anschluss an abflusslose Gruben 749
Tabelle 455: Verifikation CH_4 aus abflusslosen Gruben 751
Tabelle 456: Rückrechnung von IEF und TOW aufgrund Anpassung des Faktors I 752
Tabelle 457: Verwertung von ausgefaultem Klärschlamm 754
Tabelle 458: Vergleich $N_{EFFLUENT}$ nach verschiedenen Quellen; (kt N/Jahr) 761
Tabelle 459: Rückrechnung der N_2O-Emissionen 763
Tabelle 460: Zeitreihe der CH_4-Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung 767
Tabelle 461: Verwendete Parameter zur Bestimmung der Emissionen des gelösten Methans aus der anaeroben Behandlung von Industriellem Abwasser (Bezugsjahr 2013)..... 768
Tabelle 462: Berechnung des TOW für das Jahr 2020, Direkteinleiter 769
Tabelle 463: Unsicherheiten der mittleren spezifischen Stickstofffracht der 4 relevantesten Industriebereiche 773
Tabelle 464: Emissionen der MBA 778
Tabelle 465: Rekalkulation MBA 2019 779
Tabelle 466: Eigentliche Allokation der Nichttreibhausgase unter CRF 6 780
Tabelle 467: Übersicht der von Rückrechnungen betroffenen CRF-Oberkategorien 784
Tabelle 468: prozentuale Änderungen gegenüber der vorjährigen Berichterstattung..... 784
Tabelle 469: Rückrechnung der nationalen THG-Gesamtemissionen (ohne LULUCF)..... 785
Tabelle 470: Rückrechnungen der nachrichtlichen Inventardaten (Memo Items) 786
Tabelle 471: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 1990..... 786
Tabelle 472: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 2019..... 787
Tabelle 473: Rückrechnung der Gesamtemissionen 1990, in kt CO_2-Äquivalenten 788
Tabelle 474: Rückrechnung der Gesamtemissionen 2019, in kt CO_2-Äquivalenten 789
Tabelle 475: Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen 790
Tabelle 476: Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen..... 802
Tabelle 477: Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments, Article 9.1 806
Tabelle 478: Walddefinition in Deutschland..... 813
Tabelle 479: Aufforstung in KP- und UNFCCC-Kategorien..... 815
Tabelle 480: Entwaldung in KP- und UNFCCC-Kategorien 816
Tabelle 481: Waldbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien..... 816
Tabelle 482: Ackerlandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien 817
Tabelle 483: Weidelandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien..... 818
Tabelle 484: Akkumulierte und jährliche Flächen der Kategorien Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung..... 819
Tabelle 485: Akkumulierte Entwaldungsflächen nach Landnutzungskategorie in Hektar [ha] (CRF 4(KP-I)A.2) 820
Tabelle 486: Übersicht über die Flächen unter Ackerland- (Cropland Management) und Weidelandbewirtschaftung (Grazing Land Management) von 1990-2020 (fett gedruckt: Kyoto II - relevante Flächen)..... 821
Tabelle 487: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung im Jahr 2020 823
Tabelle 488: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im Jahr 2020..... 824

Tabelle 489: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Jahr 2020 825
Tabelle 490: Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge von Acker- und Weidelandbewirtschaftung in Deutschland für das Basisjahr und die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto - Protokolls. Dargestellt sind die berichteten Emissionen sowie diejenigen, die gemäß der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC 2014a) mit 0 berichtet wurden 826
Tabelle 491: Berechnung der für die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto - Protokolls anzurechnenden Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge von Acker- und Weidelandbewirtschaftung in Deutschland. Dargestellt sind die berichteten Werte ($Anrechnung_{tatsächlich}$) sowie vergleichend die Berechnung ohne Ausschluss der gemäß der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC 2014a) mit 0 zu berichtenden Emissionen (Vergleichsdarstellung: $Anrechnung_{ohne_0}$) 826
Tabelle 492: Emissionsfaktoren (EF) für die Biomasse der Entwaldung; positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffemission 827
Tabelle 493: Emissionsfaktoren (EF) für das Totholz 828
Tabelle 494: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) [t C ha^{-1} a^{-1}] für mineralische Böden der Quellkategorien Aufforstung und Entwaldung (negativ = Verlust, positiv = Speicherung) 830
Tabelle 495: Emissionsfaktoren für organische Böden der Entwaldung des Jahres 2020 (negativ = Verlust, positiv = Speicherung) 831
Tabelle 496: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten für den Wald der Submission 2021 und 2022 (kha) 834
Tabelle 497: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 (kha) 835
Tabelle 498: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 (kha) 835
Tabelle 499: Gegenüberstellung der Emissionen von Aufforstungen für die Submission 2021 und 2022 836
Tabelle 500: Gegenüberstellung der Emissionen von Entwaldung für die Submission 2021 und 2022 836
Tabelle 501: Gegenüberstellung der Emissionen von Waldbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 836
Tabelle 502: Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 837
Tabelle 503: Gegenüberstellung der Emissionen von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 837
Tabelle 504: Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 838
Tabelle 505: Gegenüberstellung der Emissionen von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 838
Tabelle 506: Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Totholz für die Submission 2021 und 2022 (tC/ha) 839
Tabelle 507: Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Biomasse in der Waldbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 (tC/ha) 839
Tabelle 508: Unsicherheiten für die Treibhausgasberichterstattung für Aktivitäten des Kyoto-Protokolls der Artikel 3.3 und 3.4 841

Tabelle 509: Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung der Biomasse für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 1987-2002, 2002-2008, 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent) 843
Tabelle 510: Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung des Totholzes für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent) 843
Tabelle 511: Fehlerbudget für die Emissionsfaktoren von Mineralboden und Streu, mit se = Standardabweichung des Mittelwertes; C 90, C 06 = Laborunsicherheit bei der Kohlenstoffgehaltsbestimmung BZE I und BZE II; FE = Unsicherheit bei der Bestimmung des Feinbodenvorrates 843
Tabelle 512: Kohlenstoffvorratsänderungen in lebender Biomasse (für 2019) 844
Tabelle 513: Kohlenstoffvorratsänderungen in Totholz und Streu (für 2019) 844
Tabelle 514: Kohlenstoffvorratsänderungen in mineralischen und organischen Böden (für 2019) 845
Tabelle 515: Flächengrößen der Aktivitäten, die nach 2013 begonnen haben 845
Tabelle 516: Zusammenstellung der Verpflichtung zur Waldbewirtschaftung, zur Aufstellung von Plänen und zur forstlichen Rahmenplanung aus den Waldgesetzen der Bundesländer 850
Tabelle 517: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im Basisjahr 1990 851
Tabelle 518: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Basisjahr 1990 852
Tabelle 519: Gegenüberstellung der Waldfunktionen nach dem Bundeswaldgesetz und nach IPCC 853
Tabelle 520: Verbesserungen und Veränderungen im Treibhausgasinventar seit 2011, die eine technische Korrektur des Forest Management Reference Level nach sich ziehen 855
Tabelle 521: Verwendete Methoden für die Technische Korrektur des FMRL nach Pools bzw. Quellen 856
Tabelle 522: Projektionswerte für die Emissionen nach Pools/Quellen von 2013 bis 2020 856
Tabelle 523: Ergebnisse der Technischen Korrektur des Forest Management Reference Levels 856
Tabelle 524: Mit Weham projizierter Holzeinschlag (Rohholzpotenzial) und tatsächlicher Holzeinschlag in der Verpflichtungsperiode 2013-2020 857
Tabelle 525: Gegenüberstellung der Emissionen [kt CO2-äqui.] des Forest Management Reverence Level (FMRL) und der Treibhausgasberichterstattung (GHG) unterteilt nach Pools für die Verpflichtungsperiode 2013-2020 859
Tabelle 526: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge der Feuchtgebietsbewirtschaftung 2020, zusammengestellt gemäß (EU) 2018/841, Art. 7, Abs. 4 860
Tabelle 527: Information on accounting for activities under Articles 3.3 and 3.4 of the Kyoto Protocol 865
Tabelle 528: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz (vollständige Liste) 869
Tabelle 529: KP CRF Table NIR.3: Summary Overview for Key Categories for Land Use, Land-Use Change and Forestry Activities under the Kyoto Protocol 874
Tabelle 530: Daten für das Jahr 2019: 887
Tabelle 531: Daten für das Jahr 2018: 887
Tabelle 532: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA 889
Tabelle 533: Übersicht: Auffällige Positionen beim Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017 892
Tabelle 534: Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung 894

Tabelle 535: Vergleich der CO_2-Emissionsfaktoren für die Steinkohlen ... 901
Tabelle 536: Zusammensetzung und Emissionsfaktoren von Ottokraftstoffen ... 906
Tabelle 537: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Energie ... 911
Tabelle 538: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Industrieprozesse ... 915
Tabelle 539: IPCC Standardwerte für EF & Unteren Heizwert ... 917
Tabelle 540: Verifikation der Vollständigkeit des berichteten CO_2 aus der nichtenergetischen Verwendung von fossilen Energieträgern ... 918
Tabelle 541: Anlagentypen nach Anhang der 4.BImSchV ... 923
Tabelle 542: Klassifikation der Quellen nach Feuerungstyp ... 924
Tabelle 543: CO_2-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung in Öffentlichen Kraftwerken ... 925
Tabelle 544: Emissionsfaktoren 2018 für Flugbenzin ... 926
Tabelle 545: Übersicht der Emissionsfaktoren für Kerosin, in kg/TJ ... 927
Tabelle 546: Übersicht der zu berücksichtigen Teilunsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren ... 928
Tabelle 547: Energieeinsätze im Straßenverkehr seit 1990 ... 929
Tabelle 548: mittlere Heizwerte für Otto- und Dieselkraftstoffe ... 930
Tabelle 549: Korrekturfaktoren zur Anpassung an die Energiebilanz ... 931
Tabelle 550: Ableitung der EF(CO_2) für Zweitaktgemische, in kg/TJ ... 933
Tabelle 551: CO_2 aus in Zweitakt-Ottomotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen ... 934
Tabelle 552: revidierte Mengen mitverbrannter Schmierstoffen, in Terajoule ... 934
Tabelle 553: revidierte Kohlendioxid-Emissionen, in Kilotonnen ... 934
Tabelle 554: aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierendes CO2, in Kilotonnen ... 935
Tabelle 555: CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen ... 935
Tabelle 556: CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen ... 936
Tabelle 557: revidierte fossile CO_2-Emissionen aus Biokraftstoffen, in Kilotonnen ... 937
Tabelle 558: Gesamt-THG-Emissionen von Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren ... 938
Tabelle 559: Mittlerer jährlicher Tierbestand nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes ... 938
Tabelle 560: CH_4-Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren ... 939
Tabelle 561: CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren ... 939
Tabelle 562: Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren ... 940
Tabelle 563: Eingangsdaten zur Berechnung der NH_3-Emissionen (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH_3-N pro kg TAN ... 941
Tabelle 564: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Lager ... 941
Tabelle 565: Direkte N_2O-Emissionen aus Böden infolge Gehegewild-Freilandaufenthalt und Wirtschaftsdüngerausbringung bei Kaninchen, Straußen und Pelztieren. ... 942
Tabelle 566: Parameter zur Berechnung der indirekten N_2O-Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs infolge Freilandaufenthalt und Ausbringung (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH_3-N pro kg TAN) ... 942
Tabelle 567: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs (N_{reac}) aus NH_3- und NO-Emissionen aus Gehegewild-Freilandaufenthalt und Ausbringung ... 942
Tabelle 568: Indirekte N_2O-Emissionen aus Böden infolge Auswaschung/Oberflächenabfluss ... 943
Tabelle 569: Häufigkeitsverteilungen von Tierhaltungsverfahren(in %) sowie zugehörige Einstreumengen und NH_3-Emissionsfaktoren ... 944

Tabelle 570: Häufigkeitsverteilungen von Lagerverfahren (in %), Mengen an vergorenen Energiepflanzen sowie zugehörige Emissionsfaktoren 947
Tabelle 571: Häufigkeitsverteilungen von Ausbringungsverfahren (in %) sowie zugehörige Emissionsfaktoren 952
Tabelle 572: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH_3-Emissionsfaktoren 957
Tabelle 573: Vergleich der mittels sektoralem und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten Energieeinsätze, in Terajoule 959
Tabelle 574: Vergleich der mittels sektoralem und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten CO_2-Emissionen, in Kilotonnen 960
Tabelle 575: Vollständigkeit - Übersicht der Quellen und Senken, deren Emissionen nicht geschätzt (not estimated, NE) werden 963
Tabelle 576: Vollständigkeit – Übersicht der Quellen und Senken, die an anderer Stelle berichtet werden (included elsewhere, IE) 963
Tabelle 577: Dokumentationsinstrumente im Umweltbundesamt 978
Tabelle 578: Allgemeine Checkliste für Fachverantwortliche 979
Tabelle 579: Correlation Scores for the three datasets to the German inventory totals 989
Tabelle 580: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 1002
Tabelle 581: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 1004
Tabelle 582: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO_2 in Deutschland seit 1990 1005
Tabelle 583: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland seit 1990/1995 1006
Tabelle 584: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland, seit dem jeweils letzten Jahr 1007
Tabelle 585: Veränderungen der Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr 1009
Tabelle 586: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 1990 1010
Tabelle 587: revidierte Methan-Emissionen 1990 1011
Tabelle 588: revidierte Lachgas-Emissionen 1990 1011
Tabelle 589: revidierte HFC-Emissionen 1990 1012
Tabelle 590: revidierte PFC-Emissionen 1990 1012
Tabelle 591: revidierte SF_6-Emissionen 1990 1012
Tabelle 592: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 1990 1012
Tabelle 593: revidierte NF_3-Emissionen 1990 1013
Tabelle 594: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 2019 1013
Tabelle 595: revidierte Methan-Emissionen 2019 1014
Tabelle 596: revidierte Lachgas-Emissionen 2019 1014
Tabelle 597: revidierte HFC-Emissionen 2019 1015
Tabelle 598: revidierte PFC-Emissionen 2019 1015
Tabelle 599: revidierte SF_6-Emissionen 2019 1016
Tabelle 600: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 2019 1016
Tabelle 601: revidierte NF_3-Emissionen für 2019 1016
Tabelle 602: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 1, Fehlerfortpflanzung gemäß Tabelle 3.4 der 2006 IPCC Guidelines) 1018
Tabelle 603: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 2, Monte-Carlo-Simulation, gemäß Tabelle 3.5 der 2006 IPCC Guidelines) 1025

Abkürzungsverzeichnis

AbfAblV	Abfallablagerungsverordnung
ABL	alte Bundesländer
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
AK	Arbeitskreis
ALH	alle anderen Laubbäume hoher Lebenserwartung (BWI-Baumartengruppe)
ALN	alle anderen Laubbäume niedriger Lebenserwartung (BWI-Baumartengruppe)
ANCAT	Abatement of Nuisances from Civil Air Transport
AR	Aktivitätsrate
ARD	Afforestation, reforestation, deforestation (Aufforstung, Wiederbewaldung, Entwaldung)
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AWMS	Animal Waste Management System
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAT	Best Available Technique
BDSI	Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V.
BDZ	Bundesverband der Deutschen Zementindustrie
BEF	Biomasseexpansionsfaktoren
BEU	Bilanz der Emissionsursachen für stationäre und mobile Verbrennungsprozesse
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BGS	Brennstoff-. Gas-, und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der öffentlichen verbundenen sonstigen Betriebe(ohne eigene Kokereien)
BGW	Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft
BHD	Brusthöhendurchmesser (Stammdurchmesser eines Baumes in 1,30 m Höhe über dem Boden)
BHKW	Blockheizkraftwerk
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BImSchV	Rechtsverordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz
BML	siehe BMEL
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	siehe BMU
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	siehe BMEL
BMVEL	siehe BMEL
BMVG	Bundesministerium der Verteidigung
BMWA	siehe BMWi
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BoHE	Bodennutzungshaupterhebung
BREF	BAT (Best Available Technique) Reference Documents
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
BSB_5	Biologischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen
BV Kalk	Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie
BÜK	Bodenübersichtskarte
BWI	Bundeswaldinventur
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e.V.
BZE	Bodenzustandserhebung im Wald

CAPIEL	Coordinating Committee for the Associations of Manufacturers of Industrial Electrical Switchgear and Controlgear in the European Union
CEFIC	Verband der Europäischen chemischen Industrie (französisch: Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique)
CFC	Fluorchlorkohlenwasserstoffe (engl.: Chlorofluorocarbons) = FCKW
CFI	Continuous Forest Inventory (Kontrollstichprobe)
CH_4	Methan
C_{org}	Im Boden gespeicherter organischer Kohlenstoff
CO	Kohlenstoffmonoxid, Kohlenmonoxid
CO_2	Kohlenstoffdioxid, Kohlendioxid
CORINAIR	Coordination of Information on the Environment, Teilprojekt: Air
CORINE	Coordinated Information on the Environment
CRF	Common Reporting Format
CSB	Chemischer Sauerstoff Bedarf
CVD	chemische Gasphasenabscheidung (engl.: Chemical Vapour Deposition)
D	Deutschland
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DESTATIS	Statistisches Bundesamt Deutschland, offizielle Abkürzung StBA
DFIU	Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung an der Universität Karlsruhe
DG	Deponiegas
DGMK	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle eV.
DIN	Deutsche Industrienorm
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DME	Dimethylether
DMKW	Dieselmotorkraftwerke
D_N	Stickstoff im Abwasser
DOC	Anteil des organisch abbaubaren Kohlenstoffs (engl.: Degradable Organic Carbon)
DOC_F	Anteil des in Deponiegas umgewandelten DOC (engl.: Fraction of DOC dissimilated)
DSWF	Datenspeicher Waldfonds
DTKW	Dampfturbinenkraftwerke
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs eV.
D7	Stammdurchmesser eines Baumes in 7 m Höhe über dem Boden
EBZ	Energiebilanzzeile in der BEU
EEA	Europäische Umweltagentur (engl.: European Environment Agency)
EECA	European Electronic Component Manufacturers Association
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz, Gesetzestext (BGBl. Teil I Nr. 40 v. 31.07.2004, Seite 1918 ff.)
EF	Emissionsfaktor
EI	Emissionsindex = Emissionsfaktor
E_{KA}	Einwohner mit Kläranlagenanschluss
EL	Heizöl EL (extra leicht flüssig)
EM	Emission
EMEP	Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe
EMEV	Emissionsrelevanter Energieverbrauch

ERT	Expert Review Team
ESIA	European Semiconductor Industry Association
ETS	Emisionshandelssystem mit Treibhausgasen in der EU (engl. Emissions Trading Scheme)
EU	Europäische Union
EU-EH	Europäischer Emissionshandel, auch ETS genannt
EUROCONTROL	Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt
EUROSTAT	Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften
EW	Einwohnerzahl
EXIBA	European Extruded Polystyrene Insulation Board Association
FA	Feuerungsanlagen
FAP	Fachlicher Ansprechpartner im NaSE
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (ab 2008: siehe TI)
FAO	Organisation für Ernährung und Landwirtschaft (engl.: Food And Agriculture Organisation) der Vereinten Nationen
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe (engl.: Chlorofluorocarbons, CFC)
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
FHW	Fernheizwerke
FKW	Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Perfluorocarbons, PFC)
FKZ	Forschungskennzahl
FNN	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE
FPX	Fachverband Polystyrol-Extruderschaumstoff e.V.
FV	Fachverantwortlicher im NaSE
FWL	Feuerungswärmeleistung
GEREF	GERman Emission Factor Database
GFA	Großfeuerungsanlagen
GG	Gesamtgewicht
GIS	Gasisolierte Schaltanlagen
GMBL	Gemeinsames Ministerialblatt
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GMKW	Gasmotorkraftwerke
GPG	Good Practice Guidance
GSE FM-INT	GMES Services Elements Forest Monitoring: Inputs für die Nationale Treibhausgasberichterstattung
GT	Gasturbinen
GTKW	Gasturbinenkraftwerke
GuD	Gas- und Dampfturbinenkraftwerke
GWP	Globales Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential)
HFC	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Hydrofluorocarbons) = HFKW
HFCKW	Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HFE	Hydrofluorether (engl.: Hydrofluoroethers)
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Hydrofluorocarbons, HFC)
Hi	Heizwert
HK	Hauptkategorie (engl.: key category) berücksichtigt sowohl Emissionsquellen als auch -senken.
HS	Hochspannung
HS-GIS	Hochspannungs- und Gasisolierte Schaltanlagen
IAI	International Aluminium Institute
ICE	Intercity-Express
IE	an anderer Stelle einbezogen (engl.: Included Elsewhere)

IEA	Internationale Energie Agentur (engl. International Energy Agency)
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission (engl.: International Electrotechnical Commission)
IEF	impliziter Emissionsfaktor (engl.: implied emission factor)
IfE	Institut für Energetik
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
IKW	Industriekraftwerke
IMA	Interministerielle Arbeitsgruppe
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (engl.: Intergovernmental Panel On Climate Change)
IS08	Inventurstudie 2008
IVPU	Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V.
K	Brennstoffeinsatz zur Krafterzeugung (Direktantrieb)
k.A.	keine Angabe
KCA	Key category Analysis (deutsch: Hauptkategorieanalyse)
KP	Kyoto-Protokoll
KS	Klärschlamm
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (engl. : Association for Technology and Structures in Agriculture)
l	level (im Rahmen des "Level Assessment" nach den IPCC-Good Practice Guidance)
LF	Landwirtschaftlich genutzte Flächen
LKW	Lastkraftwagen
LTO	Landing/Take-off-Zyklus
LUCF	Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: Land Use Change and Forestry)
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: Land Use, Land Use Change and Forestry)
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung
MCF	Methankonversionsfaktor (engl.: Methane Conversion Factor)
MDI	Dosieraerosole (engl.: Metered Dose Inhalers)
MS	Mittelspannung
MSW	Deponierte Menge an Siedlungsabfall
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Megawatt
N	Stickstoff
N_2O	Distickstoffoxid, Lachgas
NA	nicht anwendbar (engl.: Not Applicable)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NaSE	Nationales System Emissionsinventare
NBL	neue Bundesländer
NE	Nicht geschätzt (engl.: Not Estimated)
NEAT	Non-energy Emission Accounting Tables
NEC	EU-Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001, in der nationale Emissionshöchstmengen (engl.: National Emission Ceilings) für bestimmte Luftschadstoffe geregelt sind.
NEV	Nichtenergetischer Verbrauch
NF_3	Stickstofftrifluorid
NFR	Berichtsformat für die Berichterstattung an die UN ECE (engl.: New Format on Reporting, Nomenclature for Reporting)

NFZ	Nutzfahrzeuge
NH_3	Ammoniak
NIR	Nationaler Inventarbericht (engl.: National Inventory Report)
NMVOC	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (engl.: Non Methane Volatile Organic Compounds)
NO	nicht vorkommend (engl.: Not Occurring)
NO	Stickstoffmonoxid
NSCR	Nicht-selektive katalytische Reduktion
OCF	Montageschaum (engl.: One Component Foam)
ODS	ozonabbauende Stoffe (engl. Ozone Depleting Substances)
ORC	Organischer Rankine Kreisprozess (engl.: Organic Rankine Cycle)
OX	Oxidationsfaktor
PAH	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (engl.: Polycyclic aromatic hydrocarbons), auch PAK
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (engl.: Polycyclic aromatic hydrocarbons), auch PAH
PARTEMIS	Measurement and prediction of emissions of aerosols and gaseous precursors from gas turbine engines
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
PF	Prozessfeuerungen
PFC	Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Perfluorocarbons) = FKW
PFPE	Perfluorierte Polyether (engl.: Perfluoropolyether)
PFPMIE	Perfluorpolymethylisopropylether
PKW	Personenkraftwagen
PU	Polyurethan
Py-GAS-EM	Python-based GASeous EMissions (Programm zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen)
QK	Qualitätskontrolle
QS	Qualitätssicherung
QSE	Qualitätssystem Emissionsinventare
REA	Rauchgasentschwefelungsanlage
ROE	Rohöleinheiten
RSt	Rohstahl
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
S	Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung
S	Heizöl S (schwer flüssig)
S&A report	Synthesis and Assessment Report
SA	Heizöl SA (schwer flüssig, schwefelarm)
SE	Stichprobenfehler (sampling error)
SF_6	Schwefelhexafluorid
SKE	Steinkohleneinheiten
SNAP	Selected Nomenclature for Air Pollution
SO_2	Schwefeldioxid
StBA	Statistisches Bundesamt Deutschland
STEAG	STEAG Aktiengesellschaft (ein großer Stromerzeuger in Deutschland)
T	Trend (im Rahmen des "Trend Assessment" nach den IPCC-Good Practice Guidance) in den Übersichtstabellen der Quellgruppen
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
TAN	Total Ammoniacal Nitrogen

TFT	Dünnschichttransistor (engl.: Thin-Film Transistor)
THG	Treibhausgase
TI	Johann Heinrich von Thünen-Institut
TI-AK	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz
TI-WO	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökosysteme
TM	Trockenmasse
TOC	Gesamtkohlenstoff (engl.: Total Organic Carbon)
TREMOD	Emissionsberechnungsmodell für den Verkehr (engl.: Traffic Emission Estimation Model)
TS	Trockenstoff
TÜV	Technischer Überwachungsverein
TVF	Tonne verwertbare Förderung
UBA	Umweltbundesamt
UN ECE	Europäische Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (engl.: United Nations Economic Commission for Europe)
UN FCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (engl.: United Nations Framework Convention on Climate Change)
UN	Vereinte Nationen (engl.: United Nations)
UStatG	Umweltstatistikgesetz
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDEh	Verein Deutscher Eisenhüttenleute, seit 2003 in Stahlinstitut VDEh umbenannt (Eisen/Stahlverband)
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDKL	Verband Deutscher Kühlhäuser und Kühllogistikunternehmen e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VDN	Verband der Netzbetreiber e.V.
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke e.V.
VGB	Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V.
VIK	Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.
VOC	Volatile Organic Compounds
VRF	Variabler Kältemittelmassenstrom (engl.: Variable Refrigerant Flow)
VS	Glühverlust, Gehalt an organischer Substanz (engl. Volatile Solids)
W	Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung
WS	Anteil eines bestimmten Systems der Abwasserbehandlung (z.B. aerob, anaerob)
WZ	Wirtschaftszweig
XPS	Extrudiertes Polystyrol
ZSE	Zentrales System Emissionen
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V.

Einheiten und Größen

Multiplikationsfaktoren, Abkürzungen, Vorsilben und Symbole

		Vorsatz	
Multiplikationsfaktor	**Abkürzung**	**Name**	**Symbol**
1.000.000.000.000.000	10^{15}	Peta	P
1.000.000.000.000	10^{12}	Tera	T
1.000.000.000	10^{9}	Giga	G
1.000.000	10^{6}	Mega	M
1.000	10^{3}	Kilo	k
100	10^{2}	Hekto	h
0,1	10^{-1}	Dezi	d
0,01	10^{-2}	Zenti	c
0,001	10^{-3}	Milli	m
0,000.001	10^{-6}	Mikro	µ

Einheiten und Abkürzungen

Abkürzung	**Einheit**
°C	Grad Celsius
a	Jahr
cal	Kalorie
g	Gramm
h	Stunde
ha	Hektar
J	Joule
m^3	Kubikmeter
ppm	parts per million; Anteile pro Millionen
ppb	parts per billion, Anteile pro Milliarde
t	Tonne
W	Watt

Standardentsprechungen

Einheit			**entspricht**		
1	Tonne	(t)	1	Megagramm	(Mg)
1	Kilotonne / Tausend Tonnen	(kt)	1	Gigagramm	(Gg)
1	Megatonne / Million Tonnen	(Mt)	1	Teragramm	(Tg)

Erklärung der Einleitenden Informationstabellen

Die Einleitenden Informationstabellen finden sich am Beginn jedes Quellgruppen-Kapitels. Sie sollen einen schnellen Überblick über die Relevanz der Quellgruppe und die verwendeten Methoden geben.

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2018 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2018
L/T	**1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries**	**all fuels**	**CO_2**	**65.289,06**	**(5,20)**	**9.700,88**	**(1,13)**	**-85,14%**
-/-	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	N_2O	659,23	(0,05)	150,93	(0,02)	-77,10%
-/-	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	CH_4	91,98	(0,01)	161,36	(0,02)	75,42%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO2	CS	NS	CS
CH4	Tier 2	NS	CS
N2O	Tier 2	NS	CS
NOX, CO, NMVOC, SO2			CS

Hauptkategorie

Im oberen Teil der Tabelle werden die für die Quellgruppe relevanten Zeilen der Hauptkategorien-Analyse die Emissionen absolut (kt CO_2-äquivalent) und als prozentualen Anteile im Jahr 1990 und im letzten berichteten Jahr sowie der Emissionstrend zwischen Basisjahr (1990 oder 1995 für die F-Gase) und dem letzten berichteten Jahr in übersichtlicher Form dargestellt. Der Begriff Hauptkategorie wird im NIR synonym mit dem englischen „key category“ verwendet.

L = Hauptkategorie nach Emissionshöhe (Level)
T = Hauptkategorie nach dem Emissions-Trend
2 = Hauptkategorie ausschließlich nach der Methode-2-Analyse (inkl. Unsicherheiten)

Schadstoff

Der untere Teil der Tabelle liefert Informationen über angewandte Methode, die Quelle der Aktivitätsdaten und die verwendeten Emissionsfaktoren (EF).

Angewandte Methode

D = IPCC Default
RA = Reference Approach (Referenz-Verfahren)
Tier 1 = IPCC tier 1
Tier 2 = IPCC tier 2
Tier 3 = IPCC tier 3
C = CORINAIR
CS = Country specific (landesspezifisch)
M = Model (Modell)

Quelle der Aktivitätsdaten

M = Model (Modell)
Q = Questionaires, surveys (Fragebögen, Umfragen)
PS = Plant specific data (Anlagenspezifische Daten)
AS = Associations, business organizations (Verbände-Informationen)
RS = Regional Statistics (regionale oder föderale Statistiken)
NS = National Statistics (Nationale Statistiken)
IS = International Statistics (Internationale Statistiken)

Emissionsfaktor (EF)

D = IPCC Default
C = CorinAir
CS = Country specific (landesspezifisch)
PS = Plant specific (anlagenspezifisch)
M = Model (Modell)

0 Zusammenfassung (ES)

Als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) ist Deutschland seit 1994 dazu verpflichtet, Inventare zu nationalen Treibhausgasemissionen zu erstellen, zu veröffentlichen und regelmäßig fortzuschreiben. Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Februar 2005 ist die internationale Staatengemeinschaft verpflichtet, verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz zu realisieren. Hieraus ergeben sich sehr weitreichende und detaillierte Verpflichtungen für die Erstellung, die Berichterstattung und die Überprüfung von Emissionsinventaren. Entsprechend Artikel 3 des Kyoto-Protokolls nutzt die europäische Staatengemeinschaft die Möglichkeit der gemeinsamen Erfüllung aller EU-Staaten der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und der Klimarahmenkonvention. Dies erfolgt durch europäische Regelungen, zuletzt durch die Festlegungen der EU-Verordnung 525/2013[1] und ihrer Durchführungsverordnung 749/2014[2] Durch die aktuelle europäische Umsetzung des Kyoto-Protokolls auf dem Verordnungsweg sind dessen Anforderungen für Deutschland rechtsverbindlich geworden.

Gemäß Entscheidung 24/CP.19 müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten jährlich einen Nationalen Inventarbericht (National Inventory Report, NIR) erstellen und übermitteln, der detaillierte und vollständige Angaben über den gesamten Prozess der Erstellung der Treibhausgasinventare bereitstellt. Durch diesen Bericht soll die Transparenz, Konsistenz und Vergleichbarkeit der Inventare sichergestellt und der unabhängige Überprüfungsprozess unterstützt werden.

Gemäß der Entscheidung 15/CMP.1 müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten, die auch Mitgliedsstaaten des Kyoto-Protokolls sind, ab dem Jahr 2010 jährliche Inventare vorlegen, um die flexiblen Mechanismen nach Artikel 6, 12 und 17 des Kyoto-Protokolls in Anspruch nehmen zu können.

Deutschland legt zusammen mit den Inventartabellen im Common Reporting Format (CRF) den Nationalen Inventarbericht (NIR) vor, der sich auf den Zeitraum der Inventartabellen bezieht und die Methoden sowie die Datenquellen beschreibt, auf denen die Berechnungen basieren. Der Bericht und die Inventartabellen wurden gemäß der UNFCCC Richtlinie zur Berichterstattung über jährliche Inventare (FCCC/CP/2013/10/Add.3) und in Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories (IPCC Guidelines, 2006) und den IPCC Good Practice Guidance (IPCC-GPG, 2000) erstellt. Der NIR enthält einen Teil II sowie weitere Unterkapitel, um die erweiterten Anforderungen des Kyoto-Protokolls und der damit verbundenen Verpflichtungen auf europäischer Ebene zu erfüllen.

Der **Teil I des NIR** beinhaltet in den Kapiteln 1 bis 10 alle Informationen zum jährlichen Treibhausgasinventar.

Kapitel 1 gibt Hintergrundinformationen zum Klimawandel, den Treibhausgasinventaren sowie weitere Informationen zum Kyoto-Protokoll. Danach wird das Nationale System beschrieben, welches gemäß Artikel 5.1 des Kyoto-Protokolls die Erfüllung aller Berichtspflichten zu atmosphärischen Emissionen und zu Einbindungen in Senken unterstützen und sicherstellen soll. Weiterhin werden in diesem Kapitel die grundlegenden Prinzipien und Methoden, mit

[1] VERORDNUNG (EU) Nr. 525/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2013 über ein System für die Überwachung von Treibhausgasemissionen sowie für die Berichterstattung über diese Emissionen und über andere klimaschutzrelevante Informationen auf Ebene der Mitgliedstaaten und der Union und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 280/2004/EG

[2] DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) Nr. 749/2014 DER KOMMISSION vom 30. Juni 2014 über die Struktur, das Format, die Verfahren der Vorlage und die Überprüfung der von den Mitgliedstaaten gemäß der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates gemeldeten Informationen

denen die Emissionen und Senken der IPCC-Kategorien berechnet werden, eine Kurzfassung der Hauptkategorienanalyse sowie das Qualitäts-System Emissionsinventare (QSE) beschrieben. Abgeschlossen wird das Kapitel durch Texte zur Unsicherheitenanalyse und einer Analyse der Vollständigkeit.

Kapitel 2 gibt einen generellen Überblick über die Entwicklung der Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen sowie der Einbindung von Kohlendioxid in Senken.

In den **Kapiteln 3 bis 9** werden Angaben zu den einzelnen Quell- und Senkengruppen gemacht, neben einer allgemeinen Beschreibung und Informationen zur angewendeten Methodik finden sich in den Unterkapiteln auch Informationen zu den Unsicherheiten, zu Qualitätssicherung und –kontrolle, durchgeführten Rückrechnungen und geplanten Verbesserungen in der jeweiligen Quell- oder Senkengruppe.

In Reflexion auf die Ergebnisse der in den letzten Jahren durchgeführten Überprüfungen wurden Inventare, Nationales System und das Qualitäts-System Emissionsinventare weiter verbessert. Genauere Angaben zu Rückrechnungen und Informationen zu den durchgeführten Verbesserungen und Änderungen gegenüber dem letzten Treibhausgasinventar sind in **Kapitel 10** zu finden.

Im **Teil II des NIR** werden der vorgegebene Gliederung (annotated NIR) entsprechend die erweiterten Anforderungen der Kyoto-Berichterstattung zusammengefasst, die **Kapitel 11 bis 16** stellen den sog. „Kyoto-NIR“ dar.

In **Kapitel 11** findet sich alle Informationen zur Kyoto-Berichterstattung des Bereichs Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), insbesondere die gewählte Walddefinition, Details zur Technik der Landklassifizierung sowie alle Angaben zu den gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.3 und 3.4 des Kyoto-Protokolls.

Kapitel 12 befasst sich ganz mit der Buchhaltung der Kyoto-Einheiten, in Deutschland durch die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt).

Kapitel 13 und 14 geben eine Übersicht über die Änderungen des Nationalen Systems und bei der Deutschen Emissionshandelsstelle, um Einflüsse auf die Kyoto-Berichterstattung auszuschließen.

Das **Kapitel 15** listet alle Maßnahmen auf, die Deutschland zur Minimierung der negativen Einflüsse nach Artikel 3, Absatz 14 durchführt.

Kapitel 16 enthält ggf. weitere Informationen zur Kyoto-Berichterstattung.

Die Anhänge 1 bis 7 in **Kapitel 17-23** enthalten detailliertere Beschreibungen von Hauptkategorien, den einzelnen Quellgruppen, dem CO_2-Referenzverfahren, der Vollständigkeit, dem Nationalen System und dem Qualitätssystem, zur Emissionsdatenbank ZSE und den Unsicherheiten.

Detailliertere Angaben zu einzelnen Bereichen sind der angegebenen weiterführenden Literatur in **Kapitel 24** zu entnehmen.

Das Treibhausgasinventar wird durch das Umweltbundesamt berechnet und zusammengestellt. Daten zu Emissionen und Senken aus der Landwirtschaft, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft werden vom Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) bereitgestellt. Die Koordination der Berichterstattung liegt beim Umweltbundesamt.

0.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel (ES.1)

0.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel (ES1.1)

Seit Beginn der Industrialisierung werden deutliche überregionale bzw. globale Änderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre als Folge menschlicher Aktivitäten beobachtet. So stiegen weltweit die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) um ca. 43 %, die von Methan (CH_4) um 150 % und die von Distickstoffoxid (N_2O) um 20 % gegenüber den Werten vorindustrieller Zeiten. Zum Teil gelangen völlig neue Stoffe wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) Schwefelhexafluorid (SF_6) oder Stickstofftrifluorid (NF_3) in die Atmosphäre, die in der Natur praktisch nicht vorkommen, sondern fast ausschließlich durch den Menschen erzeugt werden. Der fünfte Sachstandsbericht der Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)[3] verdeutlicht den Einfluss des Menschen auf das Klima.

0.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren (ES1.2)

Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Februar 2005 ist die internationale Staatengemeinschaft verpflichtet, verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz zu realisieren. Die Europäische Gemeinschaft (damals mit 15 Mitgliedstaaten) hatte im Rahmen der ersten Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 die Verpflichtung übernommen, ihre Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr (1990 bzw. 1995[4]) um 8 % zu mindern. Diese Verpflichtung wurde innerhalb der EU im Rahmen einer Lastenteilung[5] zwischen den beteiligten Mitgliedstaaten aufgeteilt und erfüllt. Deutschland hatte mit der Verpflichtung zu einer Emissionsminderung von 21 % gegenüber dem Basisjahr einen erheblichen Beitrag zur Erfüllung der EU-Verpflichtung übernommen. Dieses Ziel wurde bis 2012 mit einer Minderung von über 26 % übertroffen.

Im Rahmen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls hat sich die europäische Staatengemeinschaft verpflichtet, die Freisetzung der Treibhausgas Emissionen bis 2020 um 20 % zu mindern. Gleichzeitig wurde aber auch erklärt, dass unter bestimmten Voraussetzungen dieser europäische Beitrag auf eine Minderung von 30 %[6] gegenüber 1990 erhöht werden könnte.

0.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (ES.1.3)

Im vorliegenden Bericht werden entsprechend der Entscheidung 15/CMP.1 ergänzende Informationen nach Artikel 7 Absatz 1 des Kyoto-Protokolls zur Unterstützung des Überprüfungsprozesses des Kyoto-Protokolls bereitgestellt. Diese Informationen beziehen sich auf:

[3] IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2007, im Internet unter: http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm

[4] Für HFC, PFC und SF_6

[5] burden sharing agreement, beschlossen mit Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002 über die Genehmigung des Protokolls von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen im Namen der Europäischen Gemeinschaft sowie die gemeinsame Erfüllung der daraus erwachsenden Verpflichtungen [Amtsblatt L 130 vom 15.5.2002]

[6] Information on the quantified emission limitation or reduction objectives (QELROs) for the second commitment period under the Kyoto Protocol; SUBMISSION BY DENMARK AND THE EUROPEAN COMMISSION ON BEHALF OF THE EUROPEAN UNION AND ITS MEMBER STATES, Copenhagen, 19 April 2012

- Generelle Informationen zur Inventarermittlung im Zusammenhang mit der Berichterstattung nach Artikel 3 Absatz 3 sowie für die gewählten zusätzlichen Aktivitäten nach Artikel 3 Absatz 4 des Kyoto-Protokolls; (Siehe Kapitel 11)
- Informationen zu den Zertifikaten des Kyoto-Protokolls im Zusammenhang mit den Entscheidungen 13/CMP.1 und 5/CMP.1; (Siehe Kapitel 12)
- Informationen zu Änderungen des Nationalen Systems der Emissionsberichterstattung nach Artikel 5 Absatz 1 des Kyoto-Protokolls; (Siehe Kapitel 13)
- Informationen zu Änderungen des Nationalen Registers; (Siehe Kapitel 14)
- Informationen zur Minimierung negativer Einflüsse entsprechend Artikel 3 Absatz 14 des Kyoto-Protokolls; (Siehe Kapitel 15)

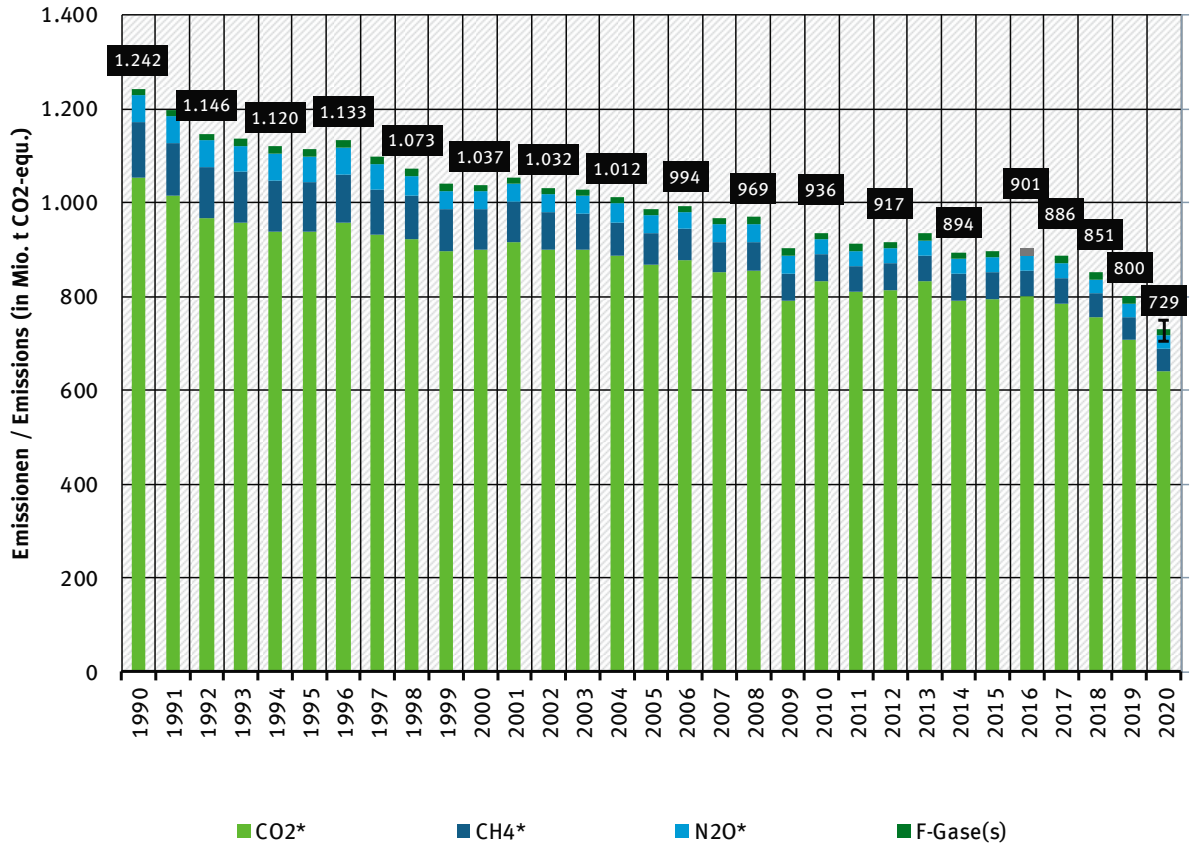
0.2 Zusammengefasste Emissionen von Treibhausgasen sowie deren Einbindung in Senken und Emissionen und Einbindungen aus KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2)

0.2.1 Treibhausgas-Inventar (ES.2.1)

Im maßgeblichen Intervall von 2008 bis 2012 konnte die Verpflichtung Deutschlands im Rahmen der o.g. europäischen gegenüber den 2007[7] festgelegten Basisjahremissionen in Höhe von 1.232.429,543 Gg CO_2-äquivalent voll erfüllt werden. Die Emissionen im Folgejahr 2013 sind gegenüber dem Vorjahr 2012 deutlich gestiegen, vor allem die kalte Winter-Witterung in 2013 führte zu diesem Anstieg. Die Emissionen der folgenden Jahre liegen wieder deutlich unter dem Niveau von 2013 und folgten weitestgehend der Konjunkturentwicklung und der Witterung. Seit dem Jahr 2017 fallen die Emissionen jedes Jahr deutlich (vgl. Kapitel 2.1).

[7] Im Ergebnis der 2007 erfolgten Überprüfung des Initial Reports und der Berichterstattung des Jahres 2006 entsprechend Artikel 8 des Kyoto-Protokolls sind – unabhängig von weiteren möglichen Verbesserungen der Datengrundlagen – die Bezugsgrößen für die Erreichung der Minderungsverpflichtung des Kyoto-Protokolls festgelegt. Die Minderungsverpflichtung für Deutschland liegt gemäß den Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und der EU-Lastenteilung (Ratsentscheidung 2002/358/EG) bei 21 %.

Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgase in Deutschland seit 1990, nach Treibhausgasen [8,]



* ohne LULUCF; Fehlerindikator 2020: Tier-2-Unsicherheiten

Die einzelnen Treibhausgase trugen dabei in unterschiedlichem Maße zu dieser Entwicklung bei (siehe Tabelle 1). Dies ist bei der Berücksichtigung der unterschiedlichen Anteile der einzelnen Treibhausgase an den Gesamtemissionen eines Jahres auch nicht verwunderlich (siehe Tabelle 2). Detaillierte Tabellen finden sich im Anhangkapitel 22.3.

Die Freisetzung von Kohlendioxid ist auch 2020 mit einem Anteil von 87,7 % Hauptverursacher der Treibhausgasemissionen. Diese stammten größtenteils aus der stationären und mobilen Verbrennung fossiler Energieträger. Durch den überdurchschnittlichen Rückgang der Emissionen der anderen Treibhausgase ist der relative Anteil der CO_2-Emissionen an den gesamten Treibhausgasemissionen seit 1990 um etwa 3 Prozentpunkte gestiegen. Die überwiegend durch Tierhaltung, Brennstoffverteilung und Deponiewirtschaft verursachten Methanemissionen (CH_4) hatten aktuell einen Anteil von 6,7 %. Lachgasemissionen (N_2O) wurden hauptsächlich durch die Landwirtschaft, Industrieprozesse und die Verbrennung fossiler Brennstoffe verursacht und trugen zu 3,9 % zu den Treibhausgasfreisetzungen bei. Die fluorierten Treibhausgase (die sogenannten F-Gase) trugen etwa 1,7 % zu den Gesamtemissionen bei, das neu berichtete Treibhausgas NF_3 ist dabei vernachlässigbar, die geringen Emissionen sind zudem teilweise vertraulich, so dass ein Teil an anderer Stelle berichtet werden muss. Die Verteilung der Treibhausgasemissionen in Deutschland ist typisch für ein hoch entwickeltes und industrialisiertes Land.

Informationen zu den Trends finden sich in Kapitel 2, alle detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion finden sich im Anhangkapitel 22.3.

[8] * ohne CO_2-Emissionen und Festlegungen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF).

Tabelle 1: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

Emissions Trends	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
							(kt)								
CO_2 emissions (without LULUCF)	**1.051.979**	**938.614**	**899.352**	**866.303**	**832.541**	**808.912**	**813.693**	**831.208**	**792.255**	**795.557**	**800.340**	**785.616**	**754.408**	**707.150**	**639.381**
Net CO_2 emissions/removals	1.076.570	911.628	887.392	867.709	814.811	789.854	784.512	804.688	766.386	771.823	774.608	760.212	730.929	688.886	624.731
CH_4 (without LULUCF)	**118.555**	**104.350**	**87.798**	**68.701**	**58.140**	**57.051**	**57.597**	**56.966**	**55.847**	**55.627**	**54.366**	**53.798**	**52.007**	**49.944**	**49.015**
CH_4 (with LULUCF)	119.996	105.785	89.232	70.292	59.867	58.792	59.355	58.741	57.639	57.438	56.186	55.629	53.953	51.814	50.889
N_2O (without LULUCF)	**57.989**	**55.250**	**36.483**	**37.522**	**30.841**	**30.855**	**31.001**	**31.172**	**31.705**	**31.655**	**31.521**	**31.028**	**29.716**	**28.948**	**28.182**
N_2O (with LULUCF)	58.960	56.211	37.419	38.873	32.150	32.195	32.376	32.582	33.152	33.142	32.967	32.489	31.199	30.450	29.694
F-Gases sum (CO_2 equi.) 1995 base year	**13.395**	**17.092**	**13.293**	**14.184**	**14.246**	**14.426**	**14.609**	**14.642**	**14.657**	**15.116**	**15.215**	**15.288**	**14.411**	**13.692**	**12.159**
Total Emissions without LULUCF (CO_2 equi.)	**1.241.919**	**1.115.305**	**1.036.926**	**986.709**	**935.768**	**911.244**	**916.901**	**933.987**	**894.465**	**897.954**	**901.442**	**885.729**	**850.542**	**799.734**	**728.738**
Total Emissions/Removals with LULUCF (CO_2 equi.)	1.268.922	1.090.716	1.027.337	991.058	921.074	895.267	890.853	910.653	871.834	877.519	878.975	863.618	830.492	784.842	717.473
Emission source and sink categories	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**
							(kt)								
1. Energy	**1.036.444**	**917.379**	**869.647**	**831.839**	**800.987**	**777.237**	**783.914**	**801.247**	**761.165**	**766.393**	**768.977**	**750.503**	**720.389**	**673.836**	**608.399**
2. Industry	**96.891**	**98.600**	**77.895**	**75.602**	**62.559**	**62.485**	**61.569**	**61.319**	**61.194**	**60.229**	**62.076**	**65.933**	**62.967**	**59.790**	**55.473**
3. Agriculture	**70.581**	**61.252**	**60.997**	**58.081**	**57.761**	**57.844**	**58.511**	**59.271**	**60.547**	**60.388**	**59.993**	**59.311**	**57.634**	**56.912**	**56.095**
4. Land-Use Change and Forestry	**27.003**	**-24.590**	**-9.589**	**4.348**	**-14.694**	**-15.976**	**-26.048**	**-23.334**	**-22.631**	**-20.435**	**-22.467**	**-22.111**	**-20.050**	**-14.892**	**-11.265**
CO_2 (net emissions)	24.591	-26.986	-11.959	1.406	-17.730	-19.058	-29.181	-26.520	-25.870	-23.733	-25.732	-25.404	-23.479	-18.264	-14.650
N_2O + CH_4	2.412	2.396	2.370	2.942	3.036	3.081	3.133	3.185	3.239	3.298	3.266	3.293	3.430	3.372	3.385
5. Waste	**38.003**	**38.074**	**28.388**	**21.188**	**14.461**	**13.677**	**12.907**	**12.150**	**11.558**	**10.943**	**10.396**	**9.982**	**9.552**	**9.196**	**8.770**

Tabelle 2: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

GHG Emission Fractions	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
							(%)								
CO_2 emissions (without LULUCF)	**84,71**	**84,16**	**86,73**	**87,80**	**88,97**	**88,77**	**88,74**	**89,00**	**88,57**	**88,60**	**88,78**	**88,70**	**88,70**	**88,42**	**87,74**
CH_4 (without LULUCF)	**9,55**	**9,36**	**8,47**	**6,96**	**6,21**	**6,26**	**6,28**	**6,10**	**6,24**	**6,19**	**6,03**	**6,07**	**6,11**	**6,25**	**6,73**
N_2O (without LULUCF)	**4,67**	**4,95**	**3,52**	**3,80**	**3,30**	**3,39**	**3,38**	**3,34**	**3,54**	**3,53**	**3,50**	**3,50**	**3,49**	**3,62**	**3,87**
F-gases sum	**1,08**	**1,53**	**1,28**	**1,44**	**1,52**	**1,58**	**1,59**	**1,57**	**1,64**	**1,68**	**1,69**	**1,73**	**1,69**	**1,71**	**1,67**
GHG Emission Fractions for Categories (without LULUCF)	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**		**2020**
							(%)								
1. Energy	**83,46**	**82,25**	**83,87**	**84,30**	**85,60**	**85,29**	**85,50**	**85,79**	**85,10**	**85,35**	**85,31**	**84,73**	**84,70**	**84,26**	**83,49**
2. Industry	**7,80**	**8,84**	**7,51**	**7,66**	**6,69**	**6,86**	**6,71**	**6,57**	**6,84**	**6,71**	**6,89**	**7,44**	**7,40**	**7,48**	**7,61**
3. Agriculture	**5,68**	**5,49**	**5,88**	**5,89**	**6,17**	**6,35**	**6,38**	**6,35**	**6,77**	**6,73**	**6,66**	**6,70**	**6,78**	**7,12**	**7,70**
5. Waste	**3,06**	**3,41**	**2,74**	**2,15**	**1,55**	**1,50**	**1,41**	**1,30**	**1,29**	**1,22**	**1,15**	**1,13**	**1,12**	**1,15**	**1,20**

* Informationen zur Gliederung des Common Reporting Format (CRF): http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ri.pdf

0.2.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2.2)

Unter Artikel 3.3 werden für das Jahr 2020 THG-Emissionen in Höhe von rund 549 kt CO_2-äquvalent verbucht.

Unter Artikel 3.4 werden die Aktivitäten Wald-, Acker- und Weidelandbewirtschaftung (Forest, Cropland and Grazingland Management) berichtet. Die Einbindungen für das Jahr 2020 entsprechen rund -17.081 kt CO_2-Äquivalenten.

0.3 Zusammengefasste Emissionsschätzungen und Trends der Quell- und Senkengruppen, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3)

0.3.1 Treibhausgas-Inventar (ES.3.1)

In Abbildung 2 ist der Beitrag der einzelnen Kategorien an den Gesamtemissionen der Treibhausgase dargestellt. Hier werden die weitgehend konstanten relativen Anteile der einzelnen Kategorien und die absolute Dominanz der energiebedingten Emissionen deutlich. Letztere nahmen absolut im zeitlichen Verlauf kontinuierlich ab. Diesen Trend überlagernde Variationen sind größtenteils temperaturbedingt. Unterschiedliche Temperaturverläufe insbesondere im Winter beeinflussen das Heizverhalten und damit den Energieverbrauch zur Erzeugung von Raumwärme, mit großen Auswirkungen auf den jährlichen Trend der energiebedingten CO_2-Emissionen.

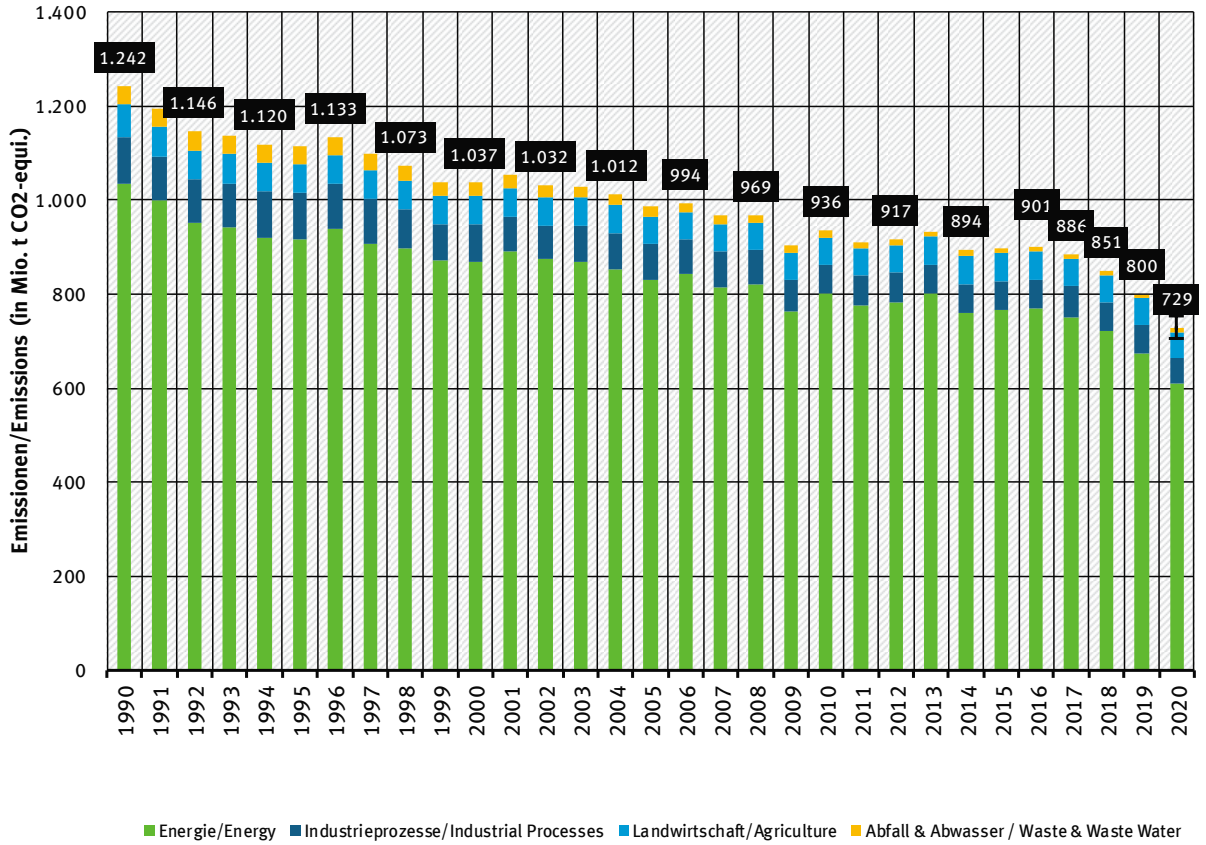
Insgesamt gingen im Jahr 2020 die Emissionen der Treibhausgase gegenüber 1990 um 41,3 % zurück[9]. Betrachtungen der einzelnen Komponenten belegen diesen Trend in unterschiedlicher Ausprägung. Die Emissionsveränderungen betragen bei den mengenmäßigen Haupttreibhausgasen Kohlendioxid (CO_2) - 39,2 %, bei Methan (CH_4) - 58,7 % und bei Lachgas (N_2O) - 51,4 %. Bei den so genannten F-Gasen, die insgesamt etwa 1,7 % zu den Treibhausgasemissionen beitragen ist diese Entwicklung dagegen nicht ganz so einheitlich. In Abhängigkeit von der Einführung neuer Technologien sowie der Verwendung dieser Stoffe als Substitute sanken die Emissionen seit dem Basisjahr 1995 bei SF_6 und bei FKW, wohingegen sie bei den H-FKW anstiegen. In Summe sanken die Emissionen der F-Gase seit 1995 jedoch um 28,9 %.

Gegenüber dem Vorjahr 2019 sanken die Gesamtemissionen um 8,9 %, die stärkste Reduktion seit der Deutschen Einheit 1990. Die zu beobachtete Reduktion ist größtenteils auf die strukturellen Änderungen in der Energiewirtschaft sowie preisbedingte Effekte wie niedrige Gaspreise und hohe CO_2-Zertifikatspreise des Europäischen Emissionshandels zurückzuführen.

Darüber hinaus kam es 2020 zu einer weiteren Senkung der CO_2 Emissionen aus der Stromerzeugung. Auch der Einsatz an Stein- und Braunkohlen ging erneut zurück. Anstelle der Kohle wurde in den letzten Jahren vermehrt Erdgas zur Stromerzeugung eingesetzt, das geringere spezifische CO_2 Emissionen aufweist.Der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung stieg zudem deutlich.

[9] Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Kategorie Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Abbildung 2: Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Kategorien[10,]

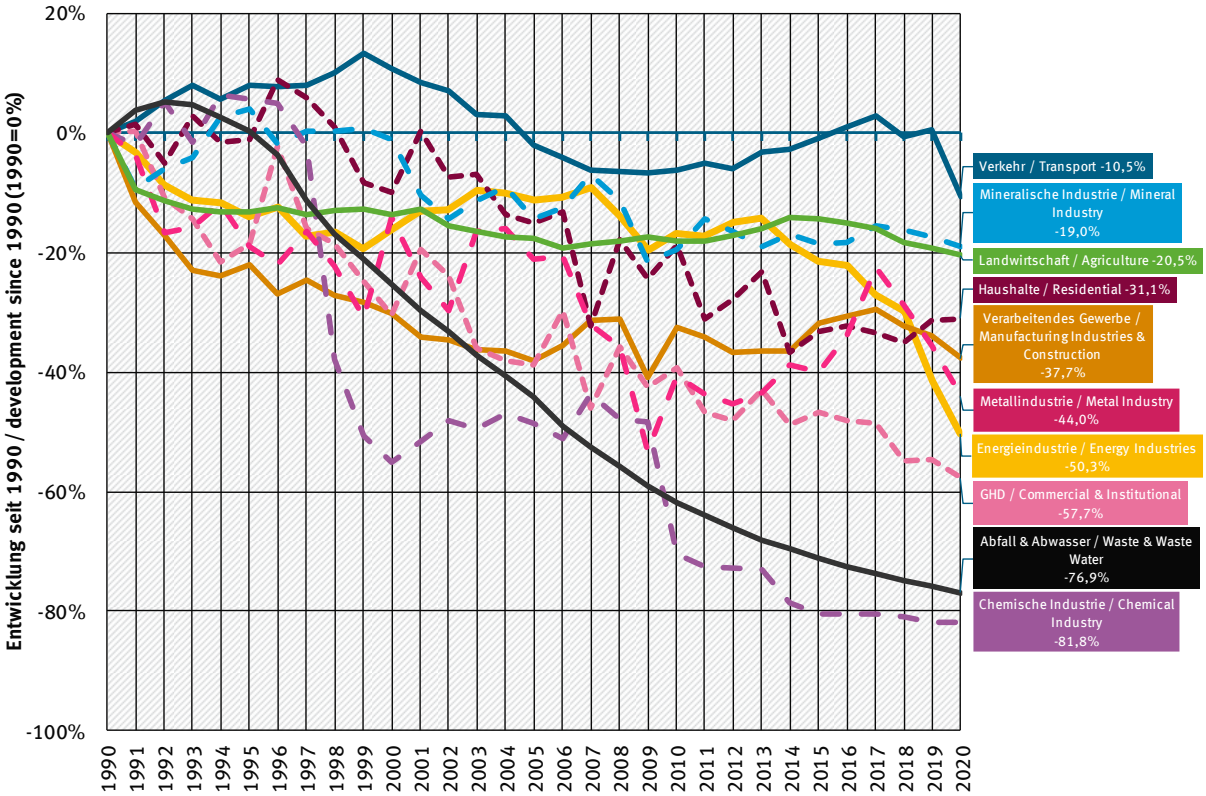


Ohne LULUCF; Fehlerindikator 2020: Tier-2-Unsicherheiten

In Abbildung 3 wird die relative Entwicklung der Emissionen aus den Kategorien seit 1990 dargestellt. Die deutlichsten Minderungen traten hier bei der Chemischen Industrie sowie den Abfallemissionen auf. Insbesondere die emissionsmindernden Maßnahmen im Bereich der Adipinsäureproduktion 1997 und 2009 einen großen Effekt auf die Emissionen der Chemischen Industrie, ebenso wie die sinkenden Emissionen der Lösemittel- und Produktverwendung vor allem durch die zurückgehende Anwendung von N_2O zu Narkosezwecken. Im Bereich Abfall haben die Einführung eines verstärkten Recyclings von wiederverwertbaren Stoffen (Verpackungsverordnung) und die Verwertung als Kompost (Bioabfallverordnung) zu einem starken Rückgang der zu deponierenden Abfallmenge und damit zu einer kontinuierlichen Minderung der Deponieemissionen geführt. Auch die Emissionen der Energiewirtschaft sinken vor allem in den letzten Jahren deutlich. In den Haushalten und dem Bereich Gewerbe Handel Dienstleistung sinken die Emissionen bereits seit Mitte der 1990er Jahre, die Emissionen fluktuieren jedoch wetterbedingt stark. Eine detaillierte Betrachtung der Emissionsentwicklung findet sich in Kapitel 2, Trends der Treibhausgase.

[10] ohne CO_2-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF).

Abbildung 3: Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien[11],



0.3.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3.2)

Deutschland berichtet unter KP-LULUCF nach Artikel 3 Absatz 3 des Kyoto-Protokolls die Aktivitäten „Aufforstung“ und „Entwaldung“; sowie nach Artikel 3 Absatz 4 „Wald-, Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung“. Berichtet werden die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas.

Unter Artikel 3.3 werden für das Jahr 2020 THG-Emissionen in Höhe von 549 kt CO_2-äquivalent berichtet. Dieser Wert bildet die Summe aus der Einbindung durch die Aktivität „Aufforstung und Wiederaufforstung“ in Höhe von -725,09 kt CO_2-äquivalent und den Emissionen aus der „Entwaldung“ in Höhe von 1.274,14 kt CO_2-äquivalent. Die Emissionen unter „Aufforstung und Entwaldung“ setzen sich zusammen aus 420,85 kt CO_2, 60,74 kt CO_2-äquivalent Methan und 67,46 kt CO_2-äquivalent Lachgas. Mit der vorliegenden Submission werden die Emissionen nach Artikel 3.3 des Kyoto-Protokolls als Quelle ausgewiesen. Ursache hierfür ist eine Methodenkorrektur, die zu präziseren Emissionsfaktoren für die Waldbiomasse führte.

Für den Artikel 3.4 betragen die THG-Emissionen für das Jahr 2020 -17.081 kt CO_2-äquivalent. Diese setzen sich zusammen aus den Emissionen von Waldbewirtschaftung mit -54.098 kt CO_2-eq., Ackerlandbewirtschaftung 16.552 kt CO_2-eq. und Weidelandbewirtschaftung von 20.466 kt CO_2-eq. Unterteilt nach den Gasen betragen die Emissionen für Kohlendioxid -19.466 kt CO_2, für Methan 1.222 kt CO_2-eq. und für Lachgas 1.163 kt CO_2-eq.

[11] Emissionen von Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft werden im entsprechenden Kapitel detailliert berichtet.

1 Einleitung

1.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren, Klimawandel und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

1.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel

Klimawandel ist die Veränderung der durchschnittlichen Witterungsverhältnisse und der Extremereignisse über einen längeren Zeitraum in einem bestimmten Gebiet oder global.

Klimaänderungen können folgende Ursachen haben:

- Veränderungen so genannter geoastrophysikalischer Parameter wie Solarkonstante, Erdbahnelemente u.a.
- Veränderungen der Erdoberfläche
- Änderungen des Energiehaushaltes im System "Erdoberfläche und Atmosphäre"
- Änderungen des Stoffhaushaltes der Atmosphäre (wie die Änderungen der Treibhausgaskonzentration).

Treibhausgase, zu denen neben Kohlendioxid, Lachgas, Methan, Ozon und andere Gase insbesondere auch Wasserdampf, als das wichtigste natürliche Treibhausgas gehört, haben eine besondere Eigenschaft: sie lassen die von der Sonne (vor allem im sichtbaren, kurzwelligen Bereich) auf die Erde fallende, energiereiche Strahlung nahezu ungehindert passieren, absorbieren aber teilweise die im Gegenzug von der erwärmten Erde ausgehende langwellige Strahlung. Hierdurch werden sie in einen energetisch angeregten Zustand versetzt, um nach kurzer Zeit unter Aussendung infraroter Strahlung wieder in den ursprünglichen Grundzustand zurückzukehren. Die Aussendung von Wärmestrahlung erfolgt gleichwertig in alle Raumrichtungen, d.h. zu einem erheblichen Anteil auch zurück zur Erdoberfläche (*thermische Gegenstrahlung*). Damit diese zusätzlich zugeführte Energiemenge dennoch abgestrahlt werden kann (aus Gründen des dynamischen, energetischen Gleichgewichts, in dem sich Erde und Atmosphäre im Mittel befinden, muss dies erfolgen), muss die Erde eine entsprechend höhere Temperatur aufweisen. Dies ist eine vereinfachte Darstellung des Treibhauseffektes.

Ohne die natürlicherweise vorkommenden Treibhausgase wäre ein Leben auf unserem Planeten nicht möglich. Statt einer globalen Erdmitteltemperatur von ca. 15°C würde eine mittlere Temperatur von etwa -18°C auf der Erde herrschen. Der natürliche Treibhauseffekt sichert also unser irdisches Leben.

Seit Beginn der Industrialisierung hat der Mensch allerdings insbesondere durch seine energieintensive Lebensweise und die damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen deutliche Veränderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre hervorgerufen. Im Zeitraum 1750 bis 2021 stiegen die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) weltweit um ca. 49 %. Die gegenwärtige CO_2 Konzentration von etwa 415 ppm (Global Carbon Project, 2021)in der Atmosphäre ist, wie schon in den vorangegangenen Jahren, die höchste der letzten 800.000 Jahre. Die Konzentration von Methan (CH_4) in der Atomsphäre stieg im gleichen Zeitraum um das 2,5-fache auf 1886 ppb, während die Konzentration von Distickstoffoxid (N_2O) um etwa 23 % auf 334 ppb gestiegen ist (Dlugokencky, 2021). Zum Teil gelangten völlig neue Stoffe wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), Schwefelhexafluorid (SF_6) und Stickstofftrifluorid (NF_3) in die Atmosphäre, die in der Natur praktisch nicht vorkommen, sondern fast ausschließlich durch den Menschen erzeugt werden.

Treibhausgase sind so genannte Spurengase, aber ihre Wirkung ist erheblich. Durch ihre Konzentrationszunahme kommt es zum anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Treibhauseffekt der eine Verstärkung des (natürlichen) Treibhauseffektes darstellt.

Der Fünfte Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC, 2015) bestätigt eindeutig, dass sich das Klima gegenwärtig ändert: Im gesamten Klimasystem finden seit Mitte des letzten Jahrhunderts vielfältige Veränderungen statt. Nicht nur die Temperatur der unteren Atmosphäre steigt, auch die Ozeane erwärmen sich, Gletscher tauen, Permafrostböden werden wärmer, Eisschilde verlieren an Masse, der Meeresspiegel steigt weiter an.

Umfassendere Beobachtungen, erweiterte Modelle und ein tiefergehendes Verständnis der Zusammenhänge zeigen: Die Aktivitäten des Menschen sind mit großer Sicherheit die Hauptursache des aktuellen Klimawandels.

Einige markante Beispiele der beobachteten Klimaänderungen sind:

- Die globale Mitteltemperatur in Bodennähe stieg gegenüber der Basisperiode 1850-1990 bis 2019 um 1,1 °C (World Meteorological Organization, 2020). Jedes der drei vergangenen Jahrzehnte war wärmer als alle vorhergehenden seit 1850. In der Nordhemisphäre war die letzte 30-jährige Periode (von 1983 bis 2012) die wärmste seit 1.400 Jahren.
- 2016 war das bisher wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen in zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, dicht gefolgt von 2017 und 2015. Neun der zehn wärmsten Jahre, die bisher beobachtet wurden traten nach 2005 auf, davon die fünf wärmsten Jahre nach 2010 (World Meteorological Organization, 2018).
- Die Ozeane haben im Zeitraum 1971 bis 2010 mehr als 90 % der Energie, die dem Klimasystem zusätzlich zugeführt wurde, gespeichert. Die **oberen Wasserschichten** der Ozeane (0 bis 700 Meter) erwärmten sich im Zeitraum 1971 bis 2010 deutlich. In den oberen 75 Metern stieg die Temperatur von 1971 bis 2010 im Mittel um 0,11°C pro Dekade an. Wahrscheinlich hat sich der Ozean im Beobachtungszeitraum 1957 bis 2009 auch in **Wassertiefen zwischen 700 und 2.000 Metern** erwärmt. Für größere Wassertiefen liegen erst für den Zeitraum 1992 bis 2005 ausreichende Beobachtungen vor, die für Wassertiefen unterhalb von 3.000 Metern eine Erwärmung zeigen, die in den südlichen Ozeanen am stärksten ausgeprägt war. Der bisherige Rückgang der Gletscher setzte sich global bis auf wenige Ausnahmen fort und auch die polaren Eiskappen nahmen an Masse ab. Der durchschnittliche jährliche Massenverlust der **Gletscher** (hier ohne Berücksichtigung der Gletscher am Rande der großen Eisschilde) betrug weltweit für den Gesamtzeitraum 1971 bis 2009 etwa 226 Gigatonnen pro Jahr, wuchs jedoch in der jüngsten Zeit (1993 bis 2009) auf etwa 275 Gigatonnen pro Jahr an.
- Die Ausdehnung des **Arktischen Meereises** verringerte sich im Zeitraum 1979 bis 2012 um eine Rate von 3,5 bis 4,1 Prozent pro Dekade. Im Sommer-Minimum (September) belief sich der Rückgang sogar auf 9,4 bis 13,6 Prozent pro Dekade. Die Dauer der Schmelzperiode verlängerte sich in diesem Zeitraum um etwa 5,7 Tage pro Dekade und die Dicke der winterlichen Eisdecke des Nordpolarmeeres nahm um etwa 1,3 bis 2,3 Meter ab.
- Die **Schneebedeckung** nahm insbesondere im Frühling auf der Nordhalbkugel seit Mitte des 20. Jahrhunderts ab. Sie verringerte sich im Zeitraum 1967 bis 2012 in den Monaten März und April um durchschnittlich 1,6 Prozent pro Dekade und um 11,7 Prozent pro Dekade im Juni.

- Infolge der fortgesetzten Tauprozesse von Gletschern und Eisschilden und der Ausdehnung des erwärmten Ozeanwassers stieg der globale mittlere Meeresspiegel von 1901 bis 2010 um etwa 19 cm an. Der mittlere Anstieg betrug in dieser Zeit etwa 1,7 Millimeter pro Jahr. In den letzten 20 Jahren war dieser Wert mit ca. 3,2 Millimetern pro Jahr fast doppelt so groß.

Die Veränderung des Klimas hat weitreichende Auswirkungen auf ökologische und gesellschaftliche Systeme mit bedrohlichen Folgen.

Um gefährliche Auswirkungen des Klimawandels zu verhindern, hat die internationale Staatengemeinschaft im Übereinkommen von Paris 2015 beschlossen, dass die globale Erwärmung deutlich unter 2 °C möglich auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen (davon sind 1,1°C bereits erreicht (World Meteorological Organization, 2020)). Nur bei einem Szenario mit sehr ambitionierter Klimapolitik ist davon auszugehen, dass die Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen ist.

Nach derzeitigem Stand der Forschung muss dazu bis spätestens 2020 der Höhepunkt der Treibhausgasemissionen erreicht und eine Trendwende herbeigeführt sein. Im weiteren Verlauf ist bis zum Jahr 2050 eine Minderung der globalen Emissionen um mindestens 50 % gegenüber dem Jahr 2000 dringend erforderlich.

Nach derzeitigem Stand der Forschung muss dazu bis spätestens 2020 der Höhepunkt der Treibhausgasemissionen erreicht und eine Trendwende herbeigeführt sein. Im weiteren Verlauf ist bis zum Jahr 2050 eine Minderung der globalen Emissionen um mindestens 50 % gegenüber dem Jahr 2000 dringend erforderlich.

1.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren

Die Staaten der Welt haben früh erkannt, dass aufgrund der zu erwartenden Temperaturänderungen Gefahren für die Ökosysteme und die menschliche Zivilisation drohen, weil diese Änderungen relativ schnell erfolgen und sich die bestehenden Systeme nicht so schnell ohne Schäden an die neuen Klimaverhältnisse anpassen können.

1992 wurde in Rio de Janeiro das Rahmenabkommen über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention) von fast allen Staaten der Welt verabschiedet. Seit 1994 müssen die in ANNEX I der Klimarahmenkonvention benannten Staaten jährlich zum 15. April ein Inventar der Treibhausgase an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention übermitteln. Es sind Angaben zu den Emissionen und Senken des Basisjahres (1990 für CO_2, N_2O, CH_4; 1995 für HFKW, FKW, SF_6, NF_3) für alle Jahre bis zwei Jahre vor dem Jahr der Berichterstattung vorzulegen (UNFCCC, 2013b)).

Auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention in Kyoto wurden erstmals rechtsverbindliche Begrenzungs- und Reduktionsverpflichtungen für die im ANNEX I genannten Staaten festgelegt. In der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls mussten die Industrieländer ihre Emissionen der sechs Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF_6) im Zeitraum der Jahre 2008 bis 2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent[12] vermindern. In der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls wurden die bisherigen Gase um das Gas Stickstofftrifluorid (NF_3) sowie sechs

[12] Die durchschnittliche Minderung von 5,2 ist ein rechnerischer Wert, der in der Anlage B des Kyoto-Protokolls eingetragenen Emissionsbegrenzungen und –minderungen der jeweiligen Vertragsparteien.

teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW-152, HFKW-161, HFKW-236cb, HFKW-236ea, HFKW-245fa, HFKW-365mfc) und zwei vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (c-C_3F_6, $C_{10}F_{18}$) erweitert.

Nach einer übernommenen Reduktionsverpflichtung um 8 % gegenüber dem Basisjahr in der ersten Verpflichtungsperiode, hat die Europäische Union im Rahmen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls die Verpflichtung übernommen, ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber dem Basisjahr um 20 % zu mindern. Diese Verpflichtung wurde in der Europäischen Effort Sharing Decision[13] zwischen den 28 Mitgliedsstaaten und der Europäischen Union aufgeteilt. Während die Emissionsminderungen der emissionshandelspflichtigen Teile der Inventare auf europäische Ebene umgesetzt werden, sind die Mitgliedsstaaten für Emissionsminderungen in den nicht-emissionshandelspflichtigen Teilen national verantwortlich. Deutschland ist hier zu einer Minderung seiner Emissionen auf 451,33 Mio. Tonnen CO_2-äquivalent verpflichtet.

Wie schon in der ersten Verpflichtungsperiode ist die Wirksamkeit und der Erfolg der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls hinsichtlich der Senkung von weltweiten Treibhausgasemissionen von zwei kritischen Faktoren abhängig: Ob die Vertragsstaaten sich an die Regeln des Protokolls halten und ihre Verpflichtungen erfüllen und ob die Emissionsdaten, die zur Erfüllungskontrolle genutzt werden, zuverlässig sind. Damit kommt der nationalen Berichterstattung und der anschließenden internationalen Überprüfung von Emissionsinventaren eine Schlüsselrolle zu.

1.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (KP NIR 1.1.3.)

Gemäß der Entscheidung 15/CMP.1 der 1. Vetragsstaatenkonferenz des Kyoto-Protokolls müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten, die auch Mitgliedsstaaten des Kyoto-Protokolls sind, ab dem Jahr 2010 jährliche Inventare vorlegen, um die flexiblem Mechanismen nach Art. 6, 12 und 17 des Kyoto-Protokolls in Anspruch nehmen zu können.

Deutschland hat auf freiwilliger Basis bereits seit 2008 (NIR 2008) mit dieser Berichtspflicht begonnen und sich damit intensiv auf die verpflichtende Berichterstattung nach Art. 7 des Kyoto-Protokolls vorbereitet.

Die erste verpflichtende Berichterstattung 2010 (NIR 2010) wurde im September 2010 im Rahmen eines In-Country-Reviews detailliert überprüft. Die Anmerkungen des In-Country-Reviews 2010 wurden in einer Resubmission im November 2010 und mit den folgenden Berichterstattungen 2011 bis 2014 umgesetzt.

Die erste Berichterstattung unter der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (NIR 2016) wurde ebenfalls im Rahmen eines In-Country-Reviews überprüft. Dessen Anmerkungen wurden beginnend mit einer Resubmission im November 2016 und den folgenden Berichterstattungen umgesetzt.

Mit der Vorlage des neunzehnten Nationalen Inventarberichtes (NIR 2021) legt Deutschland ebenso seinen dreizehnten Inventarbericht nach dem Kyoto-Protokoll, den sechsten unter der zweiten Verpflich tungsperiode, vor, der alle im Art. 7 geforderten Informationen enthält.

Informationen zu den Art. 3.3 und 3.4 des Kyoto-Protokolls (UNFCCC, 1998b) können in Kapitel 11 gefunden werden. Informationen zur Buchführung der Kyoto- Einheiten in der zweiten Verpflichtungsperiode werden in Kapitel 12 gegeben. Die Änderungen im Nationalen System werden in Kapitel 13 und die in den Nationalen Registern in Kapitel 14 beschrieben.

[13] Entscheidung Nr. 406/2009/EC des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 23.04.2009

Informationen zur Minimierung der negativen Einflüsse gemäß Art. 3 Abs. 14 des Kyoto-Protokolls enthält das Kapitel 15.

1.2 Beschreibung der Institutionalisierung der Inventarerstellung, inklusive der rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Planung, Erstellung und Management des Inventars

Die Entscheidung 24/CP.19 fordert alle Annex I Staaten zum Aufbau und Beschreibung nationaler institutioneller Festlegungen für die Erstellung von Treibhausgasinventaren auf. Vertragsparteien des Kyoto-Protokolls werden weiterhin durch Artikel 5.1 des *Kyoto-Protokolls* zum Aufbau Nationaler Systeme für die Erstellung von Treibhausgasinventaren aufgefordert, deren Anforderungen in den *Guidelines for National Systems* (UNFCCC Decision 19/CMP.1) spezifiziert sind. Das Nationale System für Deutschland erfüllt die Anforderungen beider Entscheidungen sowie der Europäischen Verordnung über ein System zum Monitoring und Berichterstattung von Treibhausgasen in der Europäischen Union und ihren Mitgliedsstaaten[14]

Das Nationale System dient dazu, die Inventarerstellung in Übereinstimmung mit den Prinzipien der Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit sicherstellen. Dies wird durch die Anwendung der methodischen Vorschriften aus den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, durch ein ständiges Qualitätsmanagement und eine kontinuierliche Inventarverbesserung erreicht.

Ausgehend von einer Vereinbarung der Staatssekretäre der beteiligten Ministerien aus dem Jahre 2007 wurde die Institutionalisierung des Nationalen Systems bis zum Jahr 2011 aufgebaut. Dies geschah anfänglich durch die Einrichtung des nationalen Koordinierungsausschusses und einer Hausanordnung für das Umweltbundesamt. Später wurde die weitere Institutionalisierung vorwiegend durch den Abschluss von Vereinbarungen mit anderen Bundesinstitutionen bzw. mit Industrieverbänden und Einzelunternehmen komplettiert. In den Jahren 2013 und 2014 wurde das Nationale System an die Anforderungen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls angepasst und erweitert.

Die anforderungskonforme Institutionalisierung und Funktionsweise des Nationalen Systems wurde von allen bisherigen internationalen Überprüfungen, darunter zwei In-Country Reviews in 2010 und 2016, bestätigt.

1.2.1 Übersicht über die institutionellen, rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Erstellung der Treibhausgas-Inventare und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

Auf ministerieller Ebene ist das Nationale System federführend vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durch eine Vereinbarung der Staatssekretäre der beteiligten Ressorts als Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ vom 05.06.2007 etabliert. Mit der Einbeziehung der Bundesministerien für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); für Wirtschaft und Energie (BMWi); für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI); des Innern, für Bau und Heimat (BMI); der Finanzen (BMF) und der Verteidigung (BMVg) werden alle wesentlichen Institutionen und Organisationen in die Erstellung der Emissionsinventare eingebunden, die einen fachlich hochwertigen Beitrag hierfür leisten können (siehe Kapitel 1.2.1.4). Im Grundsatzpapier wurden die Zuständigkeiten der Bundesministerien definiert und beschlossen das Nationale System auf bestehenden Datenströmen aufzubauen. Bei Fehlstellen in den Datenströmen sollen diese von den zuständigen Ressorts durch geeignete Aktivitäten geschlossen werden. Zur Begleitung des

[14] Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlamentes und des Europäischen Rates vom 21.05.2013

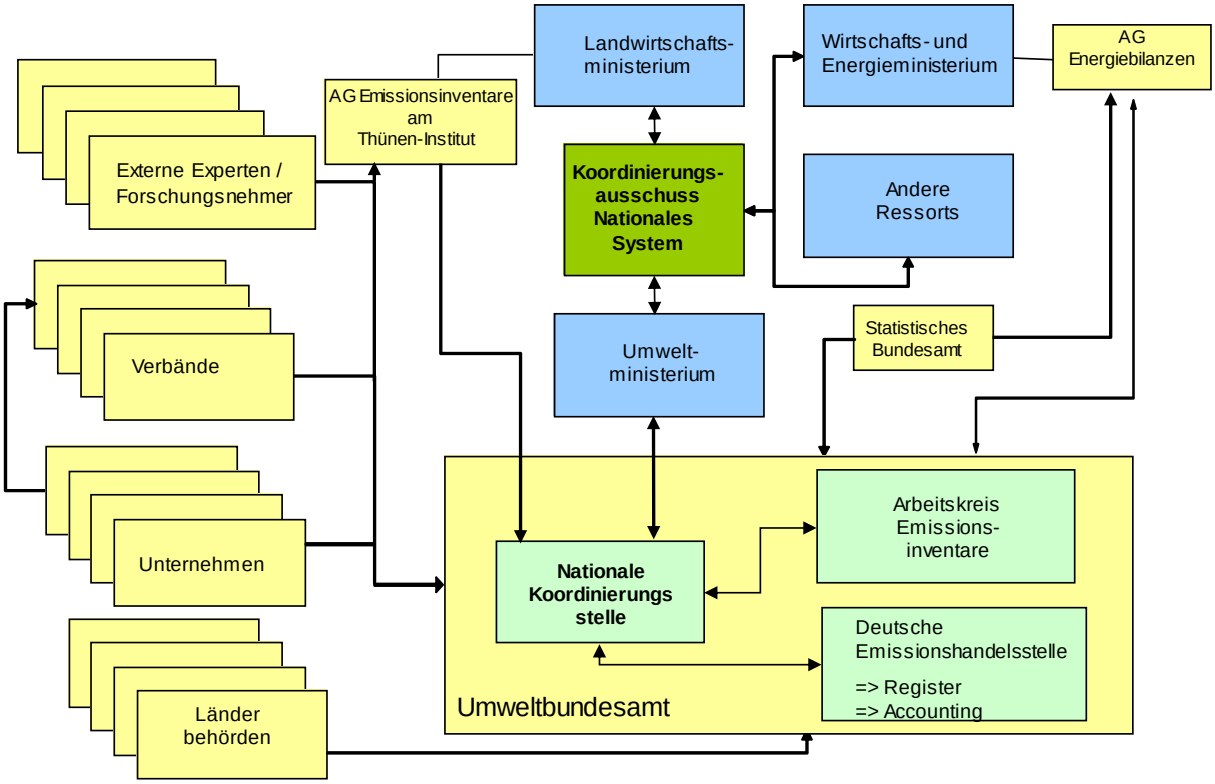
Prozesses der Berichterstattung richteten die beteiligten Ministerien einen Koordinierungsausschuss ein (siehe Kapitel 1.2.1.1).

Ebenfalls im Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ wurde dem Umweltbundesamt die Aufgaben der Nationale Koordinierungsstelle für Deutschland übertragen. Im Umweltbundesamt wurde das Fachgebiet Emissionssituation mit der Wahrnehmung der Aufgaben betraut (siehe Kapitel 1.2.1.2). Die Nationale Koordinierungsstelle bindet auf der Ebene des Umweltbundesamtes andere Facheinheiten in das Nationalen System ein und koordiniert die Beiträge der übrigen in die Emissionsberichterstattung eingebundenen Institutionen und Organisationen. Zur Koordinierung der Arbeiten innerhalb des Umweltbundesamtes wurde ein Arbeitskreis Emissionsinventare eingerichtet (siehe Kapitel 1.2.1.3). Zur Umsetzung der IPCC Richtlinien zur Qualitätskontrolle und -sicherung innerhalb des Umweltbundesamtes wurde im Jahre 2005 durch eine Hausanordnung ein Qualitätssystem Emissionen etabliert (siehe Kapitel 1.3.3.1.1).

Die folgende Abbildung 4 zeigt die Struktur der drei Ebenen des Nationalen Systems in Deutschland im Überblick.

Das Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ vom 05.06.2007 ist in Anhangkapitel 22.1.1 zu finden.

Abbildung 4: Struktur des Nationalen Systems Emissionen (NaSE)



1.2.1.1 Der Nationale Koordinierungsausschuss

Der Staatssekretärsbeschluss vom 05.06.2007 legt in § 2 die Einrichtung eines Koordinierungsauschusses unter Federführung des BMU und Einbezug aller an der Emissionsberichterstattung beteiligten Bundesministerien fest.

Der Koordinierungsausschuss soll den Prozess der Emissionsberichterstattung begleiten und alle zu klärenden Fragen des Nationalen Systems erörtern. Insbesondere berät der Ausschuss Fehlstellen in den Datenströmen und klärt Zweifelsfragen zu Zuständigkeiten.

Des Weiteren entscheidet der Koordinierungsausschuss über die Freigabe der Inventare und der nach den Art. 5, 7 und 8 des Kyoto-Protokolls notwendigen Berichte.

Der Koordinierungsausschuss trat am 21.12.2007 erstmalig zusammen. Er tagt mindestens einmal jährlich auf Einladung des BMU. Zwischen den Sitzungen findet die Abstimmung zwischen den beteiligten Bundesministerien durch elektronische Kommunikation statt.

Der Koordinierungsausschuss ist auch in der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls ein fester Bestandteil des Nationalen Systems.

1.2.1.2 Koordinierungsstelle des Nationalen Systems

Das Umweltbundesamt (UBA) wurde durch das Grundsatzpapier der Staatssekretäre vom 05.06.2007 mit der Wahrnehmung der **Aufgaben der nationalen Koordinierungsstelle** zur Emissionsberichterstattung (Single National Entity) betraut. Die Hausanordnung 11/2005 des UBA hat das Fachgebiet Emissionssituation für die Wahrnehmung dieser Funktion festgelegt.

Zu den Aufgaben der Nationalen Koordinierungsstelle gehört die Planung, Erstellung, und Archivierung der Inventare und die Beschreibung dieser in den Inventarberichten sowie die Qualitätskontrolle und –sicherung bei allen relevanten Prozessschritten. Die Nationale Koordinierungsstelle dient als zentrale Anlaufstelle, koordiniert und informiert alle Teilnehmer des Nationalen Systems. Im Zeitraum 2003 bis 2007 hat die Koordinierungsstelle prioritär neue Datenquellen erschlossen. Seit 2008 liegt der Fokus auf der Verbesserung und langfristigen Sicherung vorhandener Datenquellen und der Aufrechterhaltung der **Institutionalisierung des Nationalen Systems.** In das *Nationale System* einzubindende Institutionen und Organissationen wurden identifiziert und sukzessive eingebunden (siehe Kapitel 1.2.1.4). In den Jahren 2014 - 2016 lag der Schwerpunkt auf der Umsetzung der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls und der Revised UNFCCC Reporting Guidelines in die Berichterstattung und im Nationalen System. Weitere wesentliche Arbeiten beziehen sich auf die Umsetzung des Qualitätssystems Emissionsinventare (siehe Kapitel 1.2.2).

Die Nationale Koordinierungsstelle hat zur Erfüllung ihrer Aufgaben zwei zentrale **Instrumente** entwickelt:

Die Datenbank *Zentrale System Emissionen* (ZSE) des Umweltbundesamtes ist die zentrale, nationale Datenbank zur Emissionsberechnung und -berichterstattung. Sie wird für die zentrale Datenhaltung aller für die Emissionsberechnung benötigten Informationen (Methoden, Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren) verwendet. Das ZSE ist das wesentliche Instrument für die Dokumentation und die Qualitätssicherung auf der Datenebene.

Das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE) schafft innerhalb und außerhalb des Umweltbundesamt die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Einhaltung einer guten Inventarpraxis und die Durchführung einer routinemäßigen Qualitätssicherung. Es wurde im Umweltbundesamt über die Hausanordnung 11/2005 im Jahr 2005 installiert und umfasst die notwendigen Prozesse, um eine kontinuierliche Qualitätsverbesserung der Treibhausgasemissionsinventare zu ermöglichen. Hierzu gehört die Festlegung der Verantwortlichkeiten sowie der Qualitätsziele hinsichtlich der Methodenwahl, der Datengewinnung, der Berechnung von Emissionen und der Unsicherheitsbestimmung und die Erfassung der durchgeführten Qualitätsprüfungen sowie deren Ergebnisse (Bestätigung der Zielerreichung oder bei Nichterreichung von Zielen Benennung der geplanten Maßnahmen zur zukünftigen Abhilfe). Zur Umsetzung der kontinuierlichen Qualitätsverbesserung im Rahmen des QSE dient eine Datenbank. Hierin werden alle tabellarischen Dokumente der nationalen QK/QS vorgehalten (QK/QS-Plan, Checklisten, Listen über Verantwortlichkeiten etc.).

Die Verfahren der Qualitätskontrolle sind unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsstrukturen des UBA, unter generellen Gesichtspunkten der Qualitätssicherung und nach den *IPCC Good Practice Guidance* unter Einbindung externer Experten entwickelt worden. Für die zweite Verpflichtungsperiode wurden die Verfahren der Qualitätskontrolle an die Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories angepasst.

Seit 2008 ist durch die Einbeziehung weiterer Behörden, Institutionen und Inventarexperten in das Qualitätsmanagement über die Vorgabe von Mindestanforderungen an die Datendokumentation, QK/QS und Archivierung das QSE auf das gesamte Nationale System erweitert worden. Das Verfahren erlaubt es anderen Organisationen, auf Ihren vorhandenen Strukturen aufbauend eigene hausspezifische Systeme zur Qualitätssicherung zu entwickeln. Das QSE ist in Kapitel 1.3.3 ausführlich beschrieben.

1.2.1.3 Arbeitskreis Emissionsinventare im Umweltbundsamt

Wesentliche Zuarbeiten zu den Inventaren – insbesondere zu den Emissionsfaktoren – erhält die Nationale Koordinierungsstelle aus anderen Arbeitseinheiten des Umweltbundesamtes und den an der Inventarerstellung beteiligten Thünen-Instituten. Die datenseitige Einbindung von Verbänden, Unternehmen und anderen unabhängigen Organisationen in das Nationale System erfolgt ebenfalls in erster Linie über die für konkrete Fragestellungen zuständigen Facheinheiten des Umweltbundesamtes.

Für die Koordinierung der Arbeiten innerhalb des Umweltbundesamtes wurde im Jahr 2003 ein *Arbeitskreis Emissionsinventare* eingerichtet, über den seither alle an der Inventarerstellung beteiligten Experten eingebunden werden.

Die Nationale Koordinierungsstelle lädt mindestens einmal jährlich zu Sitzungen des Arbeitskreises ein. Weiterhin finden zur Erörterung spezifischer Fragestellungen und zur ggf. erforderlichen Festlegungen von Hauslösungen Treffen der betroffenen Mitglieder des Arbeitskreises statt.

Die Bereitstellung notwendiger Informationen erfolgt neben den Veranstaltungen des Arbeitskreises auch über ein Intranetangebot der Nationalen Koordinierungsstelle zur Emissionsberichterstattung und jeweils einen von der Nationalen Koordinierungsstelle erstellten Newsletter zum Nationalen System und zur Datenbank Zentrales Systems Emissionen (ZSE).

1.2.1.4 Zusammenarbeit der Nationalen Koordinierungsstelle mit anderen Bundesinstitutionen und Nichtregierungsorganisationen im Rahmen des Nationalen Systems

Durch das Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ vom 05.06.2007 haben die beteiligten Bundesministerien ihre Zuständigkeiten für die Quell- und Senkengruppen in der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls geregelt.

Weiterhin legt der Beschluss fest, dass auftretende Datenlücken, die in den Zuständigkeitsbereich der benannten Bundesministerien fallen, durch geeignete Aktivitäten dieser Ministerien geschlossen werden sollen. Dies erfolgt, soweit notwendig, in Form der Bereitstellung von vorhandenen Daten bzw. Berechnungen oder gegebenenfalls durch die gesicherte Bereitstellung der erforderlichen Daten durch Dritte.

Diese Regelungen behalten auch in der zweiten Verpflichtungsperiode ihre Gültigkeit.

Für einige Datenströme anderer Bundeseinrichtungen zur Nationalen Koordinierungsstelle sind spezielle Vereinbarungen zwischen der jeweiligen Einrichtung und der Nationalen Koordinierungsstelle getroffen worden.

So wurde im Jahr 2009 für die **Datenlieferung des *Statistischen Bundesamtes*** zur Emissionsberichterstattung im Rahmen eines Artikelgesetzes (3. Mittelstandsentlastungsgesetzes, MEG 3) eine gesetzliche Regelung u.a. für das Energiestatistikgesetz (EnStatG) getroffen, die nach der Novellierung des EnStatG im Jahr 2017 Bestand in § 13 (2) Eingang gefunden hat. DieRegelungen des MEG 3 ermöglichen die Bereitstellung von Daten der Energie-, Umwelt- und Produktionsstatistik für die Emissionsberichterstattung, die der statistischen Geheimhaltung unterliegen. Auf dieser Grundlage trat am 13. Januar 2010 eine Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Umweltbundesamt und dem *Statistischen Bundesamt* in Kraft, die die Datenlieferungen für die Emissionsberichterstattung spezifiziert. Die Vereinbarung sieht eine jährliche Überprüfung des Datenbedarfs des Umweltbundesamtes vor. Darüber hinaus wurde ein direkter Austausch zwischen der Nationalen Koordinierungsstelle und dem Statistischen Bundesamt zu Fragen der Emissionsberichterstattung institutionalisiert.

Durch das Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ wurde die Zuständigkeit für den Bereich Landwirtschaft und den Bereich LULUCF dem BMEL übertragen. Das BMEL hat seinen nachgeordneten Bereich mit der Durchführung der für die Emissionsberichterstattung erforderlichen Aufgaben beauftragt. Dies geschah mit Erlass vom 29.08.2007 an die damalige Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Nach der zum 01.08.2008 erfolgten Umstrukturierung des Geschäftsbereiches werden diese Aufgaben nun vom **Thünen – Institut (TI)** durchgeführt. Zu den Aufgaben gehören alle Arbeiten aus dem Bereich der Land- und Forstwirtschaft, die zur Sicherstellung der jährlichen Emissionsinventare erforderlich sind, einschließlich der Abfassung des Berichtes. Das TI übersendet Daten und Bericht an die Nationale Koordinierungsstelle. Die Erstellung der Emissions- und Kohlenstoffinventare der Quell- und Senkengruppen 3 und 4 (Land- und Forstwirtschaft), sowie für KP-LULUCF (Art. 3.3. und 3.4 KP), inklusive des Qualitätssicherungskonzepts wurde von BMEL und TI in einem Konzept (BMELV, 2016) kodifiziert, das alle Prozesse und Akteure und deren Rollen benennt und spezifiziert.

Weiterhin hat das TI am 13. Februar 2008 eine Vereinbarung mit dem Statistischen Bundesamt zur Bereitstellung von Emissionsdaten auf Basis der landwirtschaftlichen Statistiken abgeschlossen. Seit dem 07.07.2009 besteht eine Forschungs- und Entwicklungs-Zusammenarbeit zwischen dem TI und dem *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.* (KTBL), die die benötigten Zuarbeiten durch das KTBL für die Emissionsberichterstattung regelt.

Als Schnittstelle zur Nationalen Koordinierungsstelle im UBA wurde eine Arbeitsgruppe Emissionsberichterstattung am TI eingerichtet, die auch die Zuständigkeit für Planung und QK/QS für die Kategorien CRF 3 und CRF 4 inne hat.

Die Koordination der Arbeitsgruppe Emissionsberichterstattung obliegt im TI dem Institut für Agrarklimaschutz (AK). Die Berichterstattung für Landwirtschaft und LULUC obliegt dem selbigen Institut, während die Berichterstattung für Wald unter der Konvention und Artikel 3.3 und 3.4 unter dem Kyoto Protokoll dem TI für Waldökosysteme untergestellt ist. Das TI für Holzforschung hat ab der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls die Zuständigkeit für die Berichterstattung der Emissionen aus Holzwirtschaftsprodukten (HWP).

Die Einbindung der Arbeitsgruppe Emissionsberichterstattung am TI in das Nationale System erfolgt über die direkte (ressortübergreifende) Integration der Arbeitsgruppe in die Kommunikationsstrukturen der Nationalen Koordinierungsstelle. Die Arbeitsgruppe am TI ist ebenso Bestandteil des Arbeitskreises Emissionsinventare (AKEI) im Umweltbundesamt und ist vollständig in das QSE der Nationalen Koordinierungsstelle integriert.

Mindestens zweimal jährlich finden zusätzliche Koordinationstreffen zwischen der Arbeitsgruppe am TI und der Nationalen Koordinierungsstelle zur Abstimmung und Information bspw. zu Inventarverbesserungen und Forschungsprojekten statt.

Die **Einbindung von Wirtschaftsverbänden, Unternehmen** und anderen unabhängigen Organisationen erfolgt in erster Linie über die für konkrete Fragestellungen zuständigen Facheinheiten des Fachbereichs I, III und V aus dem Umweltbundesamt. Die *Nationale Koordinierungsstelle* leistet den Facheinheiten bei der Diskussion von Berichtsanforderungen und der Bestimmung von erforderlichen Datenflüssen mit den Verbänden Unterstützung. Die Datenströme werden kontinuierlich von der Nationalen Koordinierungsstelle überprüft und soweit nötig durch geeignete Vereinbarungen der Nationalen Koordinierungsstelle mit Verbänden bzw. Unternehmen aktualisiert und abgesichert.

Die **Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen** (AGEB) ist vertraglich durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) zur Bereitstellung der Energiebilanzen verpflichtet. Ein abgestimmter Zeitplan sichert die rechtzeitige Erstellung einer vorläufigen Energiebilanz für das letzte Berichtsjahr und ihre Übermittlung zum 31. Juli eines jeden Jahres an das Umweltbundesamt für die Inventarerstellung. Eine Übermittlung der endgültigen Energiebilanz bis zum 28. Februar des Jahres x+2 wird angestrebt. Der aktuelle Vertrag endet im Jahr 2022 mit der Erstellung der endgültigen Energiebilanz 2020. Beginnend mit der vorläufigen Energiebilanz 2018 ist die Verantwortung für die Bereitstellung der Daten zu den Erneuerbaren Energien im Jahr 2019 an die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) übergegangen.

Für die **Einbeziehung von nicht behördlichen Einrichtungen in das Nationale System** wurde im Jahr 2008 eine Mustervereinbarung entworfen, über die relevante Akteure verbindlich in die Erstellung der Inventare eingebunden werden. Die Mustervereinbarung wird an die Erfordernisse und Bedürfnisse der jeweiligen Datenlieferanten angepasst. Im Juli 2009 haben das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Umweltbundesamt mit dem Verband der Chemischen Industrie (VCI) und den deutschen Produzenten eine Vereinbarung zur Datenbereitstellung in den Kategorien Ammoniak (2.B.1) und Salpetersäure (2.B.2) abgeschlossen, die im Frühsommer 2014 an die Erfordernisse der Revised UNFCCC Reporting Guidelines und der 2006 IPCC Guidelines angepasst wurde. Ebenso konnten 2009 mit den in Deutschland ansässigen Produzenten von Adipinsäure (2.B.3) Vereinbarungen zur Datenbereitstellung erzielt werden. Weiterhin wurde eine Verbändevereinbarung mit dem Industrieverband Bitumen Dach- und Dichtungsbahnen (vdd) in der Kategorie Bitumen für Dachbahnen (2.D.3.c) abgeschlossen. Auf Basis dieser Vereinbarungen erfolgt seit 2009 die Datenbereitstellung in den genannten Kategorien für die Emissionsberichterstattung. Im Juni 2011 hat die Nationale Koordinierungsstelle mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie als zuständiges Ressort eine Kooperationsvereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl geschlossen. Diese Vereinbarung wurde erforderlich, da zum 31.12.2009 das Statistische Bundesamt aufgrund des Auslaufens der entsprechenden gesetzlichen Grundlage (Rohstoffstatistikgesetz) die Datenerhebung und Veröffentlichung der Fachserie 4 Reihe 8.1 (Eisen- und Stahlstatistik) eingestellt hat. Damit traten in der Verfügbarkeit der Berechnungsgrundlagen für diesen Bereich ein deutlicher Rückschritt und eine erhebliche Fehlstelle in den Datenströmen ein, die durch die neue Kooperationsvereinbarung gelöst werden konnte. Die Kooperationsvereinbarung stellt neben der Datenlieferung der Mitgliedsunternehmen auch die der Nicht-Mitglieder sicher.

Am 31.12.2010 lief die Selbstverpflichtung der Halbleiterproduzenten mit Produktionsstätten in Deutschland, die auch die Grundlage für die Datenbereitstellung für die Kategorie 2.F.6 bildet, aus. Die Nationale Koordinierungsstelle hat im August 2012 zur Schließung einer potentiellen

Datenlücke eine Kooperationsvereinbarung mit dem Fachverband Electronic Components and Systems (ECS) im Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) zur langfristigen Sicherung der Datenlieferung an das UBA für die Kategorie 2.E.1 abgeschlossen.

Diese Vereinbarungen haben zu einer langfristigen Sicherung der Datenbereitstellung und einer erheblichen Verbesserung der Datenqualität in den betreffenden Kategorien geführt.

1.2.1.5 Verbindlicher Terminplan im Rahmen des Nationalen Systems

Der verbindliche Zeitplan für die Erstellung der Emissionsinventare und des NIR wird allen internen und externen Akteuren über die Intranet-Seite des UBA und durch Veröffentlichung im NIR bekannt gemacht. Die nachfolgenden Termine können kalenderbedingt um 1-2 Tage variieren:

15. Mai	Anforderung zur Daten und Berichtstextlieferung durch die Nationale Koordinierungsstelle im UBA an die Fachverantwortlichen
31. Juli	Zulieferung der Energiedaten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, der statistischen Daten des Statistischen Bundesamtes und der Daten aus den Vereinbarungen mit Verbänden und Unternehmen, die Grundlage für weiterführende Berechnungen sind
bis 01. September	Zulieferungen fertiger Inventardaten aus dem UBA und externer Einrichtungen des NaSE
ab 02. September	Validierung / Rücksprachen der Zulieferungen der Fach- und Qualitätsverantwortlichen unter Berücksichtigung der Überprüfungsergebnisse
bis 01. Oktober	Erste Emissionsberechnungen und Erstellung der nationalen Trendtabellen, Endredaktion durch die Nationale Koordinierungsstelle im UBA
06 November	Hausabstimmung UBA
ab 17. November	Abschließende Qualitätssicherung durch QSE-, ZSE- und NIR-Koordinator
25. November	Bericht der Nationalen Koordinierungsstelle zur Einleitung der Ressortabstimmung für die Emissionsdaten und den Nationalen Inventarbericht an das BMUB
bis 20. Dezember	Freigabe durch Ressortabstimmung (Einleitung durch BMUB)
ab 02. Januar	Endredaktion durch die Nationale Koordinierungsstelle im UBA
15. Januar	Bericht (CRF und bestimmte Teile des NIR) an die Europäische Kommission (im Rahmen des CO_2 Monitoring Mechanismus) und die Europäische Umweltagentur
15. März	Bericht (korrigierte CRF und vollständiger NIR) an die Europäische Kommission (im Rahmen des CO_2 Monitoring Mechanismus) und die Europäische Umweltagentur
15. April	Bericht an das Klimasekretariat
Mai	Initial Check durch das Klimasekretariat
Juni	Synthesis and Assessment Report I (durch das VN-Klimasekretariat)
August	Synthesis and Assessment Report II (länderspezifisch; durch das VN-Klimasekretariat)
September - Oktober	Inventarüberprüfung durch das Klimasekretariat

1.2.2 Übersicht über die Inventarplanung

Die Expertise von *Forschungseinrichtungen* wird über die Durchführung von Forschungsprojekten im Rahmen des Ressortforschungsplans (ReFoPlan) in die Inventarerstellung eingebunden. Dies erfolgt über die Bearbeitung konkreter Fragestellungen und durch übergreifende Vorhaben. In den Forschungsplänen 2002-2009 verfügte die Nationale Koordinierungsstelle für die Initiierung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Inventarverbesserung jeweils über ein Globalvorhaben *Methodenaktualisierung für die Emissionsberechnung*. In den Jahren 2010 und 2011 wurden Maßnahmen zur kontinuierlichen Inventarverbesserung komplett aus dem Haushaltstitel für Sachverständigenleistungen finanziert. Dazu wurden der Nationalen Koordinierungsstelle für die Emissionsberichterstattung durch das Umweltbundesamt aus dem Haushaltstitel für Sachverständigenleistungen (Titel 526 02, Kapitel 1605) ab dem Jahr 2005 zusätzlich zu den Forschungsmitteln aus dem Ressortforschungsplan Mittel für kurzfristige Aufträge zur Inventarverbesserung in Zuständigkeit des Amtes zugesichert. Seit 2012 kann die Nationale Koordinierungsstelle Forschungsfragen im Rahmen der Emissionsberichterstattung wieder aus dem Ressortforschungsplan finanzieren. Weiterhin steht aber auch der Haushaltstitel für Sachverständigenleistungen zur Verfügung.

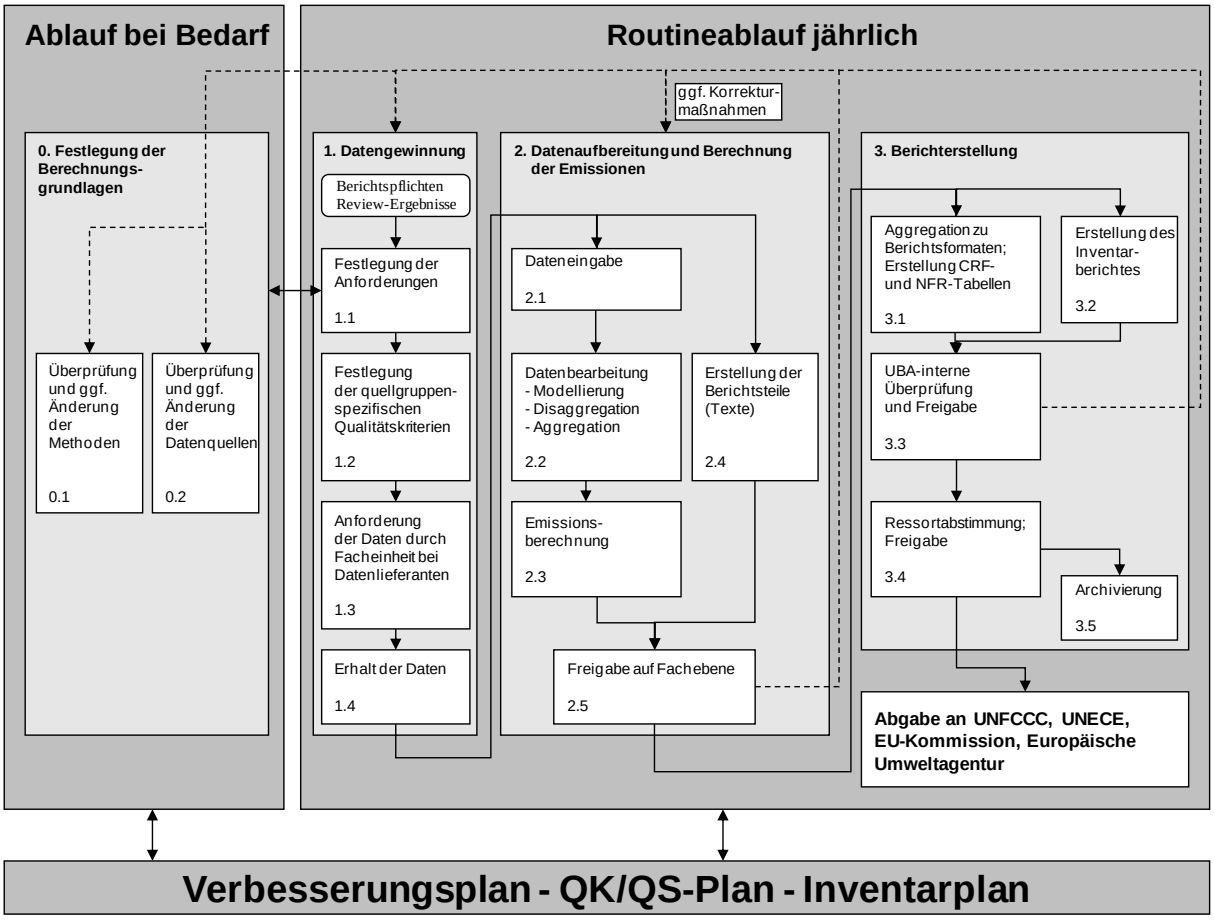
1.2.3 Übersicht der Inventarerstellung und –management, inklusive der ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

Bei der Emissionsberichterstattung handelt es sich um einen regelmäßig jährlich ablaufenden Vorgang, der allerdings, da dezentral und von verschiedenen Personen durchgeführt, für verschiedene Teile des Inventars unterschiedlich sein kann. Vor der Einführung des QSE (im Jahre 2005) wurde dieser Prozess daher intensiv untersucht und analysiert. Im Ergebnis unterscheidet das QSE im Gesamtprozess der Emissionsberichterstattung die folgenden Hauptprozesse, die in Kapitel 1.3.2 näher erläutert werden:

- Festlegung der Berechnungsgrundlagen,
- Datengewinnung,
- Datenaufbereitung und Emissionsberechnung sowie die
- Berichterstellung.

Die Hauptprozesse untergliedern sich in Teilprozesse gemäß Abbildung 5.

Abbildung 5: Übersicht über den Prozess der Emissionsberichterstattung



Es hat sich gezeigt, dass sich der Ablauf der Inventarplanung und -erstellung auf die Qualität der Inventare auswirken kann. Die Reihenfolge des Vorgehens ist somit nicht unwesentlich für die Inventarqualität. Der Prozess der Inventarerstellung erfolgt auch aus diesem Grund in enger Verzahnung mit der Durchführung von Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung. Jedem Teilprozess wurden hierfür geeignete QK/QS-Maßnahmen zugewiesen, um bei der Qualitätsprüfung nicht nur die Endqualität der Inventardaten sicherzustellen, sondern diese bereits auf dem Wege dorthin zu gewährleisten. Auf diese Weise können auch periodische interne Evaluationen des Prozesses der Inventarerstellung nach Paragraph 26 der *Reporting Guidelines (*24/CP.19) durchgeführt werden.

Der Ablauf inklusive der QK/QS-Maßnahmen deckt die Anforderungen des Paragraphen 21 (b) der *Reporting* Guidelines (24/CP.19) an die Inventarerstellung ab.

Der Ablauf der Inventarerstellung ist detailliert im Kapitel 1.3 beschrieben.

1.3 Inventarerstellung

Die Inventarerstellung folgt, wie in der Übersicht in Kapitel 1.2.3 dargestellt, einem regelmäßigen, jährlich ablaufenden Schema. Die Prozesse zur Treibhausgas-Inventarerstellung, zur Erstellung des KP-LULUCF-Inventars und des Nationalen Inventarberichtes und der Durchführung von Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung sind sehr eng mit einander verknüpft.

Grundsätzlich ist zwischen den vorgelagerten Abläufen bei der Inventarerstellung (siehe Kapitel 1.3.1.1) der Festlegung der Berechnungsgrundlagen (siehe Kapitel 1.3.2.1) , der Sammlung,

Verarbeitung und Speicherung von Daten (siehe Kapitel 1.3.2) und der Qualitätskontrolle und -sicherung (siehe Kapitel 1.3.3) zu unterscheiden.

1.3.1 Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventar

Die vorgelagerten Abläufe der Inventarerstellung und die Festlegung der Berechnungsgrundlagen sind für die Treibhausgas-Inventare und das KP-LULUCF-Inventar identisch.

1.3.1.1 Vorgelagerte Abläufe

Unabhängig von den in Abbildung 5 dargestellten Teilprozessen der Emissionsberichterstattung bestehen vorgelagerte Abläufe, die jeweils zwischen zwei Zyklen der Emissionsberichterstattung durchgeführt werden.

Als vorgelagerte Abläufe werden die folgenden Teilprozesse gezählt:

- kontinuierliche Überprüfung und Sicherstellung der Datenströme von den Datenlieferanten zum Umweltbundesamt durch die Verbesserung der Institutionalisierung des Nationalen Systems;
- Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung;
- die Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Methode 1 nach Kapitel 4.3.1, Vol. 1 der 2006 IPCC GL);
- die Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen mittels Monte Carlo Simulation (gemäß Approach 1- oder Approach 2-Verfahren nach den *IPCC Good Practice Guidance*);
- die erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien mittels Monte Carlo Simulation (gemäß Methode 2 nach Kapitel 4.3.2, Vol. 1 der 2006 IPCC GL).

1.3.1.1.1 Verbesserung des Nationalen Systems

Durch die Form der Etablierung des Nationalen Systems, die insbesondere auf bestehenden Datenströmen aufbaut und bei fehlender langfristiger Absicherung der Datenbereitstellung geeignete Maßnahmen zur Absicherung vorsieht (siehe Kapitel 1.2.1.2), ist eine stetige Überprüfung der Datenströme zwischen zwei Zyklen der Berichterstattung nötig.

Bei auslaufenden Selbstverpflichtungen sind Gespräche mit den Datenlieferanten über deren Verlängerung bzw. Überführung in eine Kooperationsvereinbarung zu führen. Nicht abgesicherte Datenströme sind mit verbindlichen Zusagen oder Kooperationsvereinbarungen zu unterlegen. Im Zweifelsfall sind gesetzliche Regelungen zur Datenbereitstellung zu prüfen und umzusetzen.

Bestehende Vereinbarungen müssen ggf. an neue Gegebenheiten und Berichterstattungserfordernisse (z.B. Wechsel des Berichterstattungsverfahrens) angepasst werden. Damit wird zu einer stetig hohen Qualität des Nationalen Systems und der Inventarerstellung beigetragen.

Veränderungen und Verbesserungen im Nationalen System im aktuellen Berichterstattungszyklus sind im Kapitel 13 beschrieben.

1.3.1.1.2 Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung

Das Qualitätssystem dient sowohl der Gewährleistung einer hohen Inventarqualität, als auch der stetigen Inventarverbesserung und Verbesserung der Inventarplanung.

Erkannte Verbesserungsnotwendigkeiten aus der zurückliegenden Qualitätskontrolle und -sicherung, zurückliegende Review-Ergebnisse und im NIR ausgewiesene geplante Verbesserungen werden wenn möglich im jeweils nächstenBerichterstattungszyklus umgesetzt.

Eine detaillierte Beschreibung der Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung ist im Kapitel 1.6 zu finden. Die in den Kategorien erzielten Verbesserungen dieser Berichterstattung sind in den jeweiligen Kategorien-Kapiteln zu finden.

1.3.1.1.3 Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Tier 1-Verfahren)

Um die für die Inventarerstellung und -verbesserung notwendigen, vielfältigen und detaillierten Aktivitäten und Kapazitäten auf die wesentlichen Kategorien der Inventare konzentrieren zu können, wurde durch IPCC die Definition einer Hauptkategorie eingeführt. Als solche werden Quell- bzw. Senkengruppen bezeichnet, die im nationalen Inventar herausgehoben sind, da ihre Emissionen bzw. Einbindungen einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtemission der direkten Treibhausgase haben, entweder in der absoluten Höhe der Emissionen, im Beitrag zum zeitlichen Emissionstrend, ihrer Unsicherheiten oder aufgrund ihrer Einschätzung als relevante Quelle durch einen Experten.

Die Bestimmung der Hauptkategorien wird von der Nationalen Koordinierungsstelle einmal jährlich vor dem Durchlaufen des Prozesses der Emissionsberichterstattung durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Berichterstattung für das Jahr x berichtet, können aber erst bei der Inventarerstellung für das Jahr x+1 fachlich berücksichtigt werden. Die Zugehörigkeit zu den Hauptkategorien dient als Kriterium dafür, welche Berechnungsmethode (Tier-Ansatz) und in Folge dessen welcher Detaillierungsgrad bei der Emissionsmodellierung für die Kategorie angewandt werden muss. Darüber hinaus wird das Ergebnis der Bestimmung der Hauptkategorien zur Ermittlung von Kategorien mit prioritärem Handlungsbedarf bei der Inventarverbesserung genutzt.

In der 2000 *IPCC Good Practice Guidance* (Vol. 1, Ch. 4) sind die für die Bestimmung der Hauptkategorien anzuwendenden Methoden festgelegt. Diese ermöglichen es, durch die Analyse des Inventars für ein Jahr im Hinblick auf die Emissionshöhe der einzelnen Kategorien (Tier 1 Level Assessment), die Analyse einer Zeitreihe der Inventarangaben (Tier 1 Trend Assessment) sowie durch eine detaillierte Analyse der fehlerbewerteten Inventarangaben (Tier 2 Level and Trend Assessment unter Berücksichtigung der Unsicherheiten) die jeweiligen Hauptkategorien zu identifizieren.

Zur Festlegung der Hauptkategorien wurden für die deutschen Treibhausgasemissionen die beide Methode 1-Verfahren Level (für das Basisjahr sowie das letzte berichtete Jahr) sowie Trend (für das letzte berichtete Jahr gegenüber dem Basisjahr) angewendet. Entsprechend den IPCC-Vorgaben wurde dabei neben den Emissionen aus Quellen auch die Einbindung der Treibhausgase in Senken in den Analysen berücksichtigt.

1.3.1.1.4 Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen

Unsicherheiten sind elementarer Bestandteil der Emissionsinventare und ihre Bestimmung soll zu einem quantitativen Ausdruck für die Genauigkeit der Emissionsinventare führen. Während die Bestimmung der Unsicherheiten mit der Datenerhebung und damit im Prozessablauf der Emissionsberichterstattung unter dem Punkt Datengewinnung erfolgt, kann ihre Aggregation erst im Anschluss an die Inventarerstellung beziehungsweise den Zyklus der Emissionsberichterstattung erfolgen.

Bei der Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten werden die Unsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren, welche in der Regel auf der untersten Ebene der Kategorien im ZSE von Experten geschätzt wurden, in Unsicherheiten von Emissionen umgerechnet und aggregiert. Die Aggregation der Unsicherheiten wird jährlich am Ende des Berichtserstattungszyklus für das aktuelle Berichtsjahr durchgeführt.

Zur Ermittlung der Unsicherheiten des Inventars wurden die Einzelunsicherheiten, soweit bisher möglich, durch die Daten liefernden Experten der Facheinheiten im UBA sowie externe Einrichtungen geschätzt.

1.3.1.1.5 Erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien

Die aggregierten Unsicherheiten dienen als Grundlage zur erweiterten Bestimmung der Hauptkategorien (Tier-2-Hauptkategorienbestimmung).

1.3.2 Sammlung, Verarbeitung und Speicherung der Daten, inklusive KP-LULUCF-Inventare

1.3.2.1 Festlegung der Berechnungsgrundlagen

Die Auswahl, Überprüfung und ggf. Änderung der Berechnungsmethoden zur Emissionsermittlung hat Auswirkungen auf den gesamten Emissionsberichterstattungsprozess. Daher steht die Prüfung der Angemessenheit der verwendeten Methoden am Anfang des Hauptprozesses „Festlegung der Berechnungsgrundlagen“. Die 2006 *IPCC Guidelines* geben für die jeweiligen Kategorien mit Hilfe von Entscheidungsbäumen (Decision Trees) vor, welche Methoden anzuwenden sind. Dies erfolgt auch in Abhängigkeit davon, ob es sich um eine Hauptkategorie handelt oder nicht. Kommt statt der vorgeschriebenen Methode eine andere – länderspezifische – Methode zur Anwendung, so ist dies im NIR zu begründen. Die Gleich- oder Höherwertigkeit der Methode ist darzulegen und nachvollziehbar zu dokumentieren.

Weiter stellen auch die **Auswahl, Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen** einen kritischen Erfolgsfaktor dar, denn die Ergebnisse der gesamten Folgeprozesse (Datenaufbereitung, Berechnung, Berichterstattung) können nicht besser als die Qualität der Primärdaten sein. Datenquellen können sich auf Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren oder Emissionen einer bestimmten Kategorie beziehen. In vielen Fällen wird es sich um bereits seit mehreren Jahren genutzte Datenquellen handeln. Die Auswahl neuer Datenquellen kann z.B. auf Grund einer erforderlichen Methodenumstellung, des Wegfalls einer bisherigen Datenquelle, der Notwendigkeit zusätzlicher Daten oder aufgrund von Ergebnissen der Qualitätskontrolle bei bisher genutzten Datenquellen erforderlich sein.

Verschiedene Kriterien beeinflussen die Eignung einer Datenquelle. Hierzu zählen u.a.:

- langfristige Verfügbarkeit,
- Institutionalisierung der Datenbereitstellung,
- gute Dokumentation,
- Durchführung von Maßnahmen der Qualitätskontrolle und –sicherung seitens der Datenlieferanten,
- Angabe von Unsicherheiten,
- Repräsentativität der Daten und
- Vollständigkeit der zu erwartenden Daten.

Wichtig ist, dass in jedem Fall die Entscheidung für die Auswahl einer Datenquelle dokumentiert wird und dass bei erheblich reduzierter Eignung der verwendeten Datenquellen geeignete Verbesserungsmaßnahmen geplant werden.

Die Weitergabe von Anforderungen zur Qualitätskontrolle, -sicherung und Dokumentation an Datenlieferanten wird angestrebt und ist insbesondere bei der Vergabe von Forschungsvorhaben von besonderer Relevanz, da das Umweltbundesamt als Auftraggeber in diesem Fall einen erheblichen Einfluss auf den Auftragnehmer ausüben kann.

1.3.2.2 Datengewinnung

Die Datengewinnung und -dokumentation erfolgt durch den jeweiligen Fachverantwortlichen. Dies kann durch die Auswertung von amtlichen oder Verbände-Statistiken, Studien, Periodika sowie von Forschungsvorhaben erfolgen. Zu den letzteren kanndie Durchführung eigener Forschungsvorhaben oder die Heranziehung fremder Forschungsvorhaben gehören Ebenso kann die Datengewinnung über die Verwendung persönlicher Informationen, sowie über einen Bund/Länder-Datenaustausch gewonnene Daten erfolgen. Unter dem Strich werden häufig anderweitig gewonnene Arbeitsergebnisse für die Emissionsberichterstattung weitergenutzt.

Die Datengewinnung umfasst die Teilschritte:

- Festlegung der Anforderungen,
- Festlegung der kategoriespezifischen Qualitätskriterien für die Daten,
- Anforderung der Daten durch die zuständige Facheinheit bei den Datenlieferanten, sowie
- Erhalt der Daten.

Über die Nationale Koordinierungsstelle wird die Anforderung zur Zuarbeit zu den Inventaren unter Information der Fachvorgesetzten an die kategoriespezifischen Fachverantwortlichen geschickt. Für die Fertigung des NIR wird eine Master-Datei bereitgestellt, die die Struktur für die Zuarbeiten vorgibt. Als Anforderung für die späteren Dateneingaben gelten die Vorgaben aus dem ZSE (direkte Eingabe oder Befüllung des Importformats). Über Informationsveranstaltungen des *UBA AK Emissionsinventare,* die Intranet- und Share-Point-Seiten zur Emissionsberichterstattung des UBA und einer elektronischen Inventarbeschreibung (siehe Kapitel 1.3.3.1.5) werden den Fachverantwortlichen die Anforderungen an die Berichterstattung einschließlich der durchzuführenden Maßnahmen zur QK/QS, die Ergebnisse aller Inventarüberprüfungen sowie kategoriespezifisch der Datenbestand jeder Kategorie und die aktuellen Ergebnisse aus der Bestimmung der Hauptkategorien bekannt gemacht. Auf dieser Basis sind durch den Fachverantwortlichen die **Anforderungen** bezüglich der Datenquellen sowie der Berechnungsmethoden **festzulegen**.

Die Anforderungen beeinflussen den vorgelagerten Prozess der Festlegung von Berechnungsgrundlagen (Überprüfung und Auswahl der Methoden und Datenquellen), der immer dann stattfindet, wenn die Anforderungen noch nicht erfüllt sind oder sich verändert haben.

Nach Festlegung der Anforderungen an Datenquellen und Methoden soll vor der Einleitung der Datengewinnung bei Dritten eine **Festlegung der kategoriespezifischen Qualitätskriterien** für diese Daten erfolgen, um den Prozess der QK auf der Datenebene zu unterstützen. Die Durchführung dieses Schrittes ist derzeit optional da für die meisten Kategorien keine Auswahl- bzw. Differenzierungsmöglichkeiten bei den zur Verfügung stehenden Daten exisitieren, da es in der Regel einfach nicht genug Datenquellen gibt.

Erfolgt die **Anforderung der Daten** durch den Fachverantwortlichen bei Dritten, soll der vom Datenlieferant erwartete Umfang, die Anforderungen an die Datenqualität und an die Dokumentation der Daten angegeben werden. Beim **Erhalt der Daten** werden diese auf Vollständigkeit, Einhaltung der Qualitätskriterien und Aktualität geprüft. Die Validierung der Daten erfolgt durch den Fachverantwortlichen.

1.3.2.3 Datenaufbereitung und Emissionsberechnung

Die Datenaufbereitung und Emissionsberechnung umfasst die Schritte:

- Dateneingabe,
- Datenbearbeitung (Modellbildung, Disaggregation, Aggregation),

- Emissionsberechnung,
- Erstellung Berichtsteile (Texte) sowie
- Freigabe auf der Fachebene.

Große Teile der **Dateneingabe und –bearbeitung** (Bearbeitung von Daten und Emissionsberechnung) laufen im ZSE ab, wodurch die Transparenz und Konsistenz erheblich erhöht wird und sich für die Durchführung von allgemeinen Maßnahmen der Qualitätskontrolle auf der Datenebene die Möglichkeit eröffnet, im ZSE eine Automatisierung vorzunehmen (z.B. Prüfung von Größenordnungen und Vollständigkeit etc.). In solchen Fällen wird die manuelle Durchführung bestimmter QK-Maßnahmen sinnvoll ergänzt. Um Berechnungsergebnisse komplexer Modelle zu plausibilisieren, sollten zur Überprüfung außerhalb des ZSE Cross-Checks mit vereinfachten Annahmen erfolgen.

Nach Durchlaufen der Prüfungen und evtl. Rücksprachen erfolgt die **Emissionsberechnung** im ZSE durch ein automatisiertes Verfahren nach dem Prinzip

Aktivitätsrate * Emissionsfaktor = Emission.

Sind auch vorgelagerte Rechenwege im ZSE abgelegt, so werden diese Berechnungen ebenfalls automatisiert angestoßen und fließen in die eigentliche Emissionsberechnung ein.

Im Anschluss zu den Arbeiten mit Zeitreihen für Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Unsicherheiten und Emissionen werden auch die Berichtsteile erstellt. Insofern wird der Begriff Daten in einem weiten Sinne verstanden. Er umfasst neben Zahlenwerten, Zeitreihen, etc. auch Kontextinformationen wie Quellen einer Zeitreihe sowie Wege der Berechnung und bezieht sich ebenfalls auf die **Erstellung der Berichtsteile** für den NIR und die Dokumentation von Rückrechnungen.

Die **Freigabe auf der Fachebene** durch die jeweiligen QK-Verantwortlichen hat sowohl für Texte als auch für Ergebnisse der Berechnungen vor der weiteren Verwendung durch die nationale Koordinierungsstelle zu erfolgen. Dies geschieht in der Regel mit der Übermittlung an die Nationale Koordinierungsstelle und durch die Freigabe der vollständig ausgefüllten QK/QS-Checklisten.

1.3.2.4 Berichterstellung

Zur Berichterstellung gehören:

- die Aggregation der Emissionsdaten zu den Berichtsformaten: hierzu gehört der Export der XML-Dateien für den CRF-Reporter aus dem ZSE sowie der Import der XML-Dateien in den CRF-Reporter, die Erstellung der Datentabellen für das NFR, sowie die Aggregation der Emissionsdaten zu den nationalen Trendtabellen
- die Zusammenfassung der zugelieferten Berichtstexte zum Berichtsentwurf (NIR) sowie die Gesamtredaktion des NIR,
- die UBA-interne Überprüfung des Entwurfs (nationale Trendtabellen und NIR) mit anschließender Freigabe,
- die Übergabe an das BMUB zur Ressortabstimmung mit abschließender Freigabe durch den Koordinierungsausschuss, sowie abschließend
- die Übergabe an das UNFCCC-Sekretariat, die EU-Kommission bzw. das UNECE Sekretariat und
- die anschließende Archivierung.

Nach der Fertigstellung der Daten, Berichtsteile und QK/QS-Checklisten durch die Fachexperten und die Übermittlung derselben an die Nationale Koordinierungsstelle werden sie von den kategoriespezifischen fachlichen Ansprechpartnern in der Nationalen Koordinierungsstelle

anhand einer QK-Checkliste überprüft. Die Ergebnisse dieser Überprüfung werden den Fachverantwortlichen zur Verfügung gestellt, so dass diese (ggf. nach einer Rücksprache) ihren Beitrag entsprechend überarbeiten können.

Bevor die Emissionsdaten in die Berichtsformate für die Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls (CRF= Common Reporting Format) bzw. die Genfer Luftreinhaltekonvention (NFR= New Format on reporting) übertragen werden können, muss eine **Aggregation der Emissionsdaten** aus den Zeitreihen des ZSE (im Erfassungsformat) zu den **Berichtsformaten** CRF- bzw. NFR-Kategorien erfolgen. Dies wird über eine hierarchische Zuordnung im ZSE realisiert, die im Anhang 3 für die einzelnen Hauptkategorien genauer beschrieben ist. Die Aggregationen erfolgen automatisiert, sofern keine Änderungen gegenüber dem Vorjahr auftreten.

Nach der rechnerischen Aggregation werden Aktivitätsdaten und Emissionen über den Export in XML-Dateien in den CRF-Reporter eingelesen, in dem automatisiert die CRF-Berichtstabellen des IPCC erstellt werden. Dennoch sind Qualitätskontrollen erforderlich, die eine Übereinstimmung der Werte sowie der durch den CRF-Reporter berechneten Implied Emission Factors zwischen dem Emissionsinventar und den CRF-Reporter Tabellen sicherstellen. Zudem ist eine hinreichende Kommentierung etwaiger Rekalkulationen sowie von Notation Keys erforderlich.

Die Berechnung der Treibhausgase in CO_2-Äquivalenten erfolgt nach Maßgabe des § 2 der Entscheidung 24/CP.19 bzw. des § 31 der Revised UNFCCC Reporting Guidelines (FCCC/CP/2013/10/Add. 3), auf Basis der mit dem *Fourth Assessment Report* veröffentlichten und in folgender Tabelle abgebildeten jeweiligen Treibhauspotentials (GWP), basierend auf den Wirkungen der Treibhausgase über einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Tabelle 3: Global Warming Potential (GWP) der Treibhausgase

Greenhouse gas	Chemical formula	IPCC AR4 GWP
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	25
Nitrous oxide	N_2O	298
Hydrofluorocarbons (HFC)		
HFC-23	CHF_3	14800
HFC-32	CH_2F_2	675
HFC-41	CH_3F	92
HFC-43-10mee	$CF_3CF_2CHFCHFCF_3$	1640
HFC-125	CHF_2CF_3	3500
HFC-134	CHF_2CHF_2	1100
HFC-134a	CH_2FCF_3	1430
HFC-143	CHF_2CH_2F	353
HFC-143a	CF_3CH_3	4470
HFC-152	CH_2FCH_2F	53
HFC-152a	CH_3CHF_2	124
HFC-161	CH_3CH_2F	12
HFC-227ea	CF_3CHFCF_3	3220
HFC-236cb	$CH_2FCF_2CF_3$	1340
HFC-236ea	CHF_2CHFCF_3	1370
HFC-236fa	$CF_3CH_2CF_3$	9810
HFC-245ca	$CHF_2CF_2CH_2F$	693
HFC-245fa	$CHF_2CH_2CF_3$	1030
HFC-365mfc	$CH_3CF_2CH_2CF_3$	794
Perfluorocarbons (PFC)		
Perfluoromethane	CF_4	7390

Greenhouse gas	Chemical formula	IPCC AR4 GWP
Perfluoroethane	C_2F_6	12200
Perfluoropropane	C_3F_8	8830
Perfluorocyclopropane	c-C_3F_6	17340
Perfluorobutane	C_4F_{10}	8860
Perfluorocyclobutane	c-C_4F_8	10300
Perfluoropentane	C_5F_{12}	9160
Perfluorohexane	C_6F_{14}	9300
Perfluorodecalin	$C_{10}F_{18}$	7500
Sulphur hexafluoride		
Sulphur hexafluoride	SF_6	22800
Nitrogen trifluoride		
Nitrogene trifluoride	NF_3	17200
Fluorinated ethers		
HFE-125	*CHF_2OCF_3*	*14900*
HFE-134	*CHF_2OCHF_2*	*6320*
HFE-143a	*CH_3OCF_3*	*756*
HFE-227ea	*$CF_3CHFOCF_3$*	*1540*
HCFE-235da2	*$CHF_2OCHClCF_3$*	*350*
HFE-236ca12	*$CHF_2OCF_2OCHF_2$*	*2800*
HFE-236ea2	*$CHF_2OCHFCF_3$*	*989*
HFE-236fa	*$CF_3CH_2OCF_3$*	*487*
HFE-245cb2	*$CH_3OCF_2CF_3$*	*708*
HFE-245fa1	*$CHF_2CH_2OCF_3$*	*286*
HFE-245fa2	*$CHF_2OCH_2CF_3$*	*659*
HFE-254cb2	*$CH_3OCF_2CHF_2$*	*359*
HFE-263fb2	*$CF_3CH_2OCH_3$*	*11*
HFE-329mcc2	*$CHF_2CF_2OCF_2CF_3$*	*919*
HFE-338mcf2	*$CF_3CH_2OCF_2CF_3$*	*552*
HFE-338mmz1	*$(CF_3)_2CHOCHF_2$*	*380*
HFE-338pcc13	*$CHF_2OCF_2CF_2OCHF_2$*	*1500*
HFE-347mcc3	*$CH_3OCF_2CF_2CF_3$*	*575*
HFE-347mcf2	*$CHF_2CH_2OCF_2CF_3$*	*374*
HFE-347mmy1	*$(CF_3)_2CFOCH_3$*	*343*
HFE-347pcf2	*$CHF_2CF_2OCH_2CF_3$*	*580*
HFE-356mec3	*$CH_3OCF_2CHFCF_3$*	*101*
HFE-356mmz1	*$(CF_3)_2CHOCH_3$*	*27*
HFE-356pcc3	*$CH_3OCF_2CF_2CHF_2$*	*110*
HFE-356pcf2	*$CHF_2CH_2OCF_2CHF_2$*	*265*
HFE-356pcf3	*$CHF_2OCH_2CF_2CHF_2$*	*502*
HFE-365mcf3	*$CF_3CF_2CH_2OCH_3$*	*11*
HFE-374pc2	*$CHF_2CF_2OCH_2CH_3$*	*557*
HFE-449sl	*$C_4F_9OCH_3$*	*297*
HFE-569sf2	*$C_4F_9OC_2H_5$*	*59*
HFE-43-10pccc124	*$CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$*	*1870*
	$CF_3CF_2CH_2OH$	*42*
	$(CF_3)_2CHOH$	*195*
	-$(CF_2)_4CH(OH)$-	*73*
Perfluoropolyethers		
PFPMIE	*$CF_3OCF(CF_3)CF_2OCF_2OCF_3$*	*10300*

Quelle : FCCC/CP/2013/10/Add. 3, S.24

Parallel hierzu erfolgt die **Zusammenfassung der geprüften Berichtstexte zum Berichtsentwurf** des NIR durch den Berichtskoordinator.

Die **UBA-Interne Überprüfung und Freigabe** der fertig gestellten Berichtstabellen und des NIR, sowie dem zukünftig darin enthaltenen Inventarplan erfolgt durch die Mitzeichnung im Rahmen der **Hausabstimmung im UBA**. Danach erfolgt die **Übermittlung an das** BMUB zur zweiten Phase der Freigabe im Rahmen der **Ressortabstimmung**. Der Koordinierungsausschuss gibt die Berichtstabellen und den NIR abschließend zur Übermittlung an das UNFCCC-Sekretariat frei. Das Ministerium übernimmt die Übersetzung des NIR und die **Übergabe an das UNFCCC-Sekretariat**.

Die Datentabellen und der dazugehörige NIR werden in der Inventarbeschreibung (siehe auch Kapitel 1.3.3.1.5) gesichert archiviert. Der zur Berechnung verwendete Inhalt der ZSE-Datenbank wird ebenfalls archiviert.

1.3.3 Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung (QK/QS) und ausführliche Überprüfung der Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventare

1.3.3.1 Das Qualitätssystem Emissionsinventare

Im QSE werden die Anforderungen der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)*, die nationalen Gegebenheiten in Deutschland sowie die internen Strukturen und Abläufe der berichterstattenden Institution UBA berücksichtigt. Das QSE ist in seinen Verfahrensabläufen soweit flexibel gestaltet, dass auch zukünftige veränderte Anforderungen routinemäßig berücksichtigt werden können. Der Geltungsbereich des QSE umfasst den gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung.

Das QSE umfasst alle Teilnehmer des NaSE. Im Umweltbundesamt wurde die Verbindlichkeit über die UBA-Hausanordnung 11/2005 hergestellt. Einzelheiten bezüglich der Regelung der Verbindlichkeit für andere NaSE-Teilnehmer können dem Anhang 22.1.1 entnommen werden.

1.3.3.1.1 Hausanordnung 11/2005 des UBA

Im Jahr 2005 hat das Umweltbundesamt über die *Hausanordnung 11/2005* ein *Qualitätssystem Emissionsinventare* im Umweltbundesamt installiert, das die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Einhaltung einer guten Inventarpraxis und die Durchführung einer routinemäßigen Qualitätssicherung schafft. Es entspricht den Anforderungen der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* und ist den nationalen Gegebenheiten in Deutschland sowie den internen Strukturen und Abläufe der berichterstattenden Institution UBA angepasst. Mit der Hausanordnung 11/2005 wurden verbindliche Zuständigkeitsregelungen innerhalb des UBA, die Terminkette bei der Erstellung der Inventare und die durchzuführenden Prüfhandlungen zur Qualitätskontrolle und -sicherung festgeschrieben.

Mit der Hausanordnung erfolgte die nach Paragraph 20 der *Reporting Guidelines* (24/CP.19) geforderte prozedurale Festlegung und die nach Paragraph 23 (a) erforderliche Festlegung spezifischer Verantwortlichkeiten auf der Amtsebene.

1.3.3.1.2 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung

Die Anforderungen an das System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS-System) und an die Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung werden im Wesentlichen durch das Kapitel 6 der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1)* definiert.

Aus den vormals geltenden Good Practice Guidance (Kapitel 8) wurden bereits 2007 vom UBA „Allgemeine Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung“ abgeleitet (siehe Kapitel 22.1.2.1). Für die externen Teilnehmer des Nationalen Systems ist die Übernahme der Mindestanforderungen, nach Beschlussfassung über diese Mindestanforderungen durch die Vertreter der beteiligten

Bundesministerien im Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare (siehe Anhangkapitel 22.1.1) erfolgt.

Weiterführende Informationen, welche organisatorischen Festsetzungen im UBA die Voraussetzung für die Umsetzung dieser Anforderungen bilden, können den folgenden Kapiteln und in Ergänzung hierzu dem Anhang 22.1.2.1.11 entnommen werden.

1.3.3.1.3 Aufbauorganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare

Im Rahmen des QSE wurde ein Konzept zur Aufbauorganisation entwickelt, dass die Zuständigkeiten für die Umsetzung der erforderlichen QK und QS-Maßnahmen verbindlich für das UBA festlegt. Die festgelegten Rollen und Verantwortlichkeiten sollen einen effektiven Informationsaustausch und die anforderungskonforme Durchführung der QK und QS sicherstellen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: QSE - Rollen und Verantwortlichkeiten

Rolle	Aufgabe	Verantwortlich
Fachverantwortlicher auf operativer Ebene (FV)	Erstellung von Teilen des Nationalen Inventarberichts (NIR) Datengewinnung und Dateneingabe in das ZSE und Berechnung entsprechend der gewählten/vorgegebenen Methoden Durchführung von systematischen QK-Maßnahmen in NIR, ZSE und Inventarbeschreibung Durchführung von Verifikationsmaßnahmen Archivierung aller kategoriespezifischen Inventarinformationen (Inventarbeschreibung und dezentrale Dokumentation) Wenn erforderlich (für kategoriespezifische QK): Festlegung von kategoriespezifischen Qualitätszielen und den Kriterien ihrer Zielerreichung in Abstimmung mit dem QK-Verantwortlichen, dem Fachlichen Ansprechpartner und dem QSEK. Prüfung, Aufbereitung und Beantwortung von Reviewergebnissen Aktive Teilnahme bei Reviewprozessen. Dies umfasst das Halten von Vorträgen, geben von Erläuterungen und die Erreichbarkeit für Nachfragen (im Vorfeld, während dessen und im Nachgang). Initiierung, Ausarbeitung (Leistungsbeschreibung) und fachliche Begleitung von FE-Projekten	Alle vom Fachgebietsleiter (FGL) kategoriespezifisch benannten Mitarbeiter
QK/QS-Verantwortlicher für das Fachgebiet (QKV)	Durchführung von systematischen Maßnahmen zur Sicherstellung der Qualität der an die Nationale Koordinierungsstelle zu liefernden Daten und Berichtsteile Freigabe der Daten und Berichtsteile Sicherstellung dass die erforderlichen Inventararbeiten, Qualitätskontrollen sowie die Dokumentation und Archivierung erfolgt sind Festlegung von fachlichen Verantwortlichkeiten zur Emissionsberichterstattung im Fachgebiet und Bereitstellung der notwendigen zeitlichen Ressourcen Unterstützung und Teilnahme bei Reviewprozessen	Alle zuständigen FGL

Fachliche Ansprechpartner (kategoriespezifisch) in der Nationalen Koordinierungsstelle (FAP)	Kategoriespezifische Betreuung von FV und QKV
	Unterstützung/Anleitung der FV/QKV bei der:
	• Umsetzung der internationalen Anforderungen
	• fachlichen Zuarbeit von Daten und Berichtstexten
	• Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung
	  ○ Erstellung fehlender Teile des Nationalen Inventarberichts (NIR)
	  ○ Gewinnung und Eingabe fehlender Daten in das ZSE und Berechnung entsprechend der gewählten/vorgegebenen Methoden
	  ○ Sicherstellung dass die erforderlichen Inventararbeiten, Qualitätskontrollen sowie die Dokumentation und Archivierung erfolgt sind
	  ○ Durchführung von systematischen QK-/QS-Maßnahmen in NIR, ZSE und Inventarbeschreibung
	  ○ Archivierung fehlender kategorie-spezifischer Inventarinformationen (Inventarbeschreibung und dezentrale Dokumentation)
	Initiierung und Begleitung von FE-Projekten
		kategoriespezifisch benannte Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle

Rolle	Aufgabe	Verantwortlich
	Durchführung sämtlicher Arbeiten mit dem CRF-Reporter und Qualitätskontrolle Übernahme der Aufgaben von abwesenden FV bzw. bei nicht besetzten Stellen Prüfung, Aufbereitung und tlw. Beantwortung von Reviewergebnissen Unterstützung, Begleitung, Teilnahme und tlw. Übernahme von FV-Aufgaben bei Reviewprozessen Durchführung von Kategorieübergreifenden Arbeiten Wenn erforderlich (für kategoriespezifische QK): Festlegung von kategoriespezifischen Qualitätszielen und den Kriterien ihrer Zielerreichung in Abstimmung mit dem QK-Verantwortlichen dem FAP und dem QSEK.	
Berichtskoordinator (NIRK)	Koordination von textlichen Zuarbeiten Erstellung des NIR aus den einzelnen Zuarbeiten Übergreifende QK und QS für den NIR und in Teilen auch Abgleich mit den CRF	Ein benannter Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle
ZSE-Koordinator (ZSEK)	Übergreifende QK und QS bei der Eingabe und Berechnung des Inventars (Daten) Sicherstellung der Integrität der Datenbanken und der Berichtstabellen (Common Reporting Format (CRF)) Emissionsberechnung und Aggregation zu Berichtsformaten Unterstützung der Facheinheiten bei Fragen zum ZSE und zu den Berichtstabellen Bestimmung der Unsicherheiten (nach Approach 2) mittels Monte Carlo Simulation	Ein benannter Mitarbeiter der nationalen Koordinierungsstelle
QSE-Koordinator (QSEK)	Übergreifende QK und QS im gesamten Berichterstattungsprozess Aufrechterhaltung und Fortentwicklung des QSE Pflege und Fortschreibung von QK-, QS-Plan, QK-Checklisten und QSE-Handbuch Federführung für Pflege und Fortschreibung Inventarplan sowie Verbesserungsplan Wenn erforderlich (für kategoriespezifische QK): Festlegung von kategoriespezifischen Qualitätszielen und den Kriterien ihrer Zielerreichung in Abstimmung FV, QK-Verantwortlichen und dem FAP.	Ein benannter Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle
NaSE-Koordinator (NaSEK)	Sicherstellung der termingerechten und anforderungskonformen Berichterstattung Initiierung der Umsetzung übergreifender Maßnahmen aus dem Inventarplan Festlegung / Dokumentation von institutionellen Einrichtungen und rechtlichen Vereinbarungen Organisation von Expert-Peer-Reviews z.B. im Rahmen von NaSE-Workshops Sicherstellung der zentralen Archivierung aller, über die Archivierung in der Inventarbeschreibung hinausgehenden Inventarinformationen Vorbereitung Durchführung und Nachbereitung von Inventarüberprüfungen	Ein benannter Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle

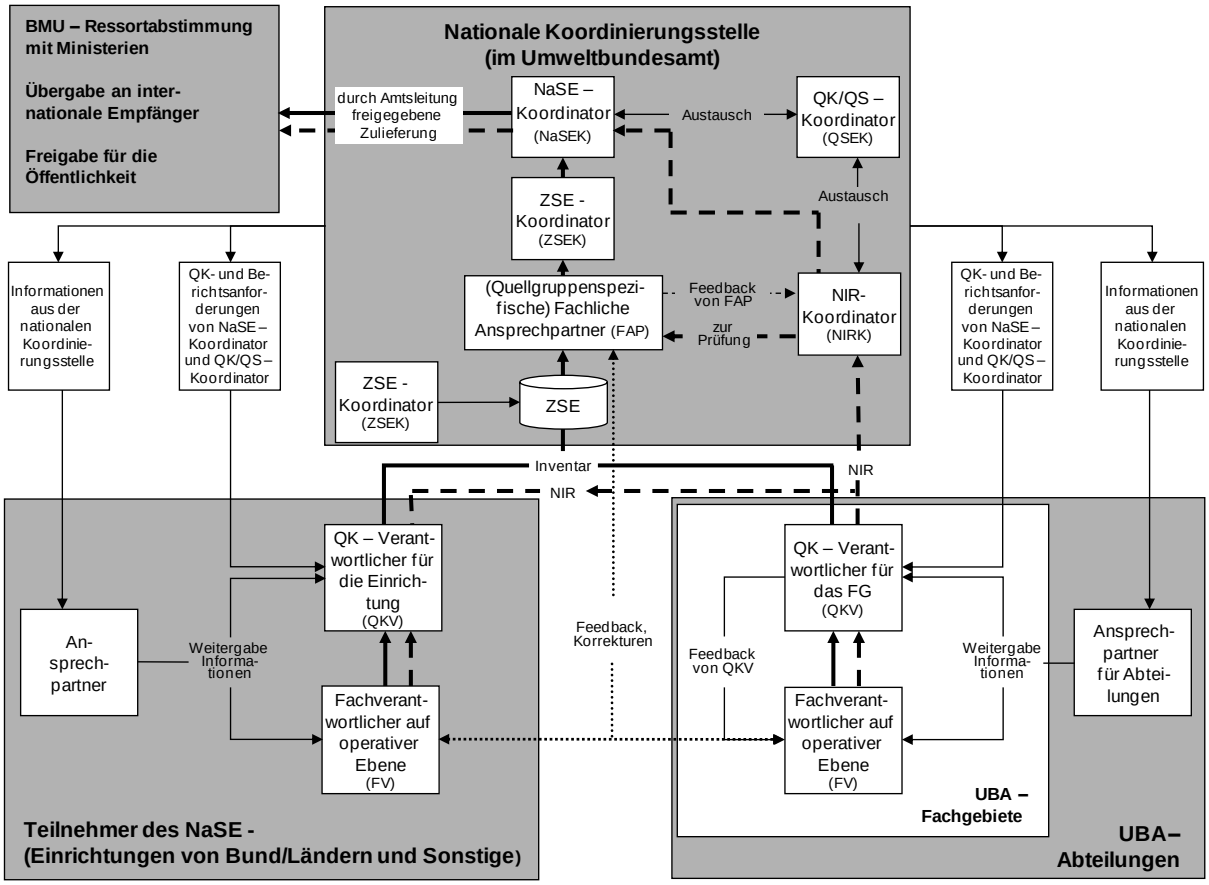
In sehr seltenen Ausnahmefällen kann es vorkommen, dass im UBA die Rolle des Fachverantwortlichen auf operativer Ebene (FV) für eine Kategorie nicht besetzt werden kann. In einem solchen Fall wird das Rollensystem des QSE vollständig von der Nationalen Koordinierungsstelle übernommen, indem es die Rollen des FV, des FAP und des QKV bereitstellt - durch jeweils unterschiedliche Personen.

Nur für den Fall, dass eine Kategorie seitens ihres Beitrags zu den Gesamtemissionen von außerordentlich geringer Relevanz ist, wird dieses Rollenkonzept aus Ressourcengründen vereinfacht. In diesem Fall stellt die Nationale Koordinierungsstelle die Rollen des FV und des QKV. Im Gegenzug wird für die betroffenen Quellgruppen in regelmäßigen Abständen eine von extern durchgeführte Qualitätssicherung durchgeführt. Die beschriebene Situation und Vorgehensweise ist derzeit nur bei CRF 1.B.1 in Anwendung.

1.3.3.1.4 Ablauforganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare

Der Ablauf der QK- und QS-Maßnahmen im QSE richtet sich am Prozess der Emissionsberichterstattung aus, wie er in Kapitel 1.2.3 beschrieben wird. Dabei ist das Qualitätsmanagement direkt mit den Arbeitsschritten in der Inventararbeit verzahnt. Jedem Schritt im Prozessablauf der Inventarerstellung wurden geeignete QK-Maßnahmen zugeordnet, die den einzelnen Akteuren zugewiesen sind (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: QSE - Rollen Aufgaben und Arbeitsabläufe

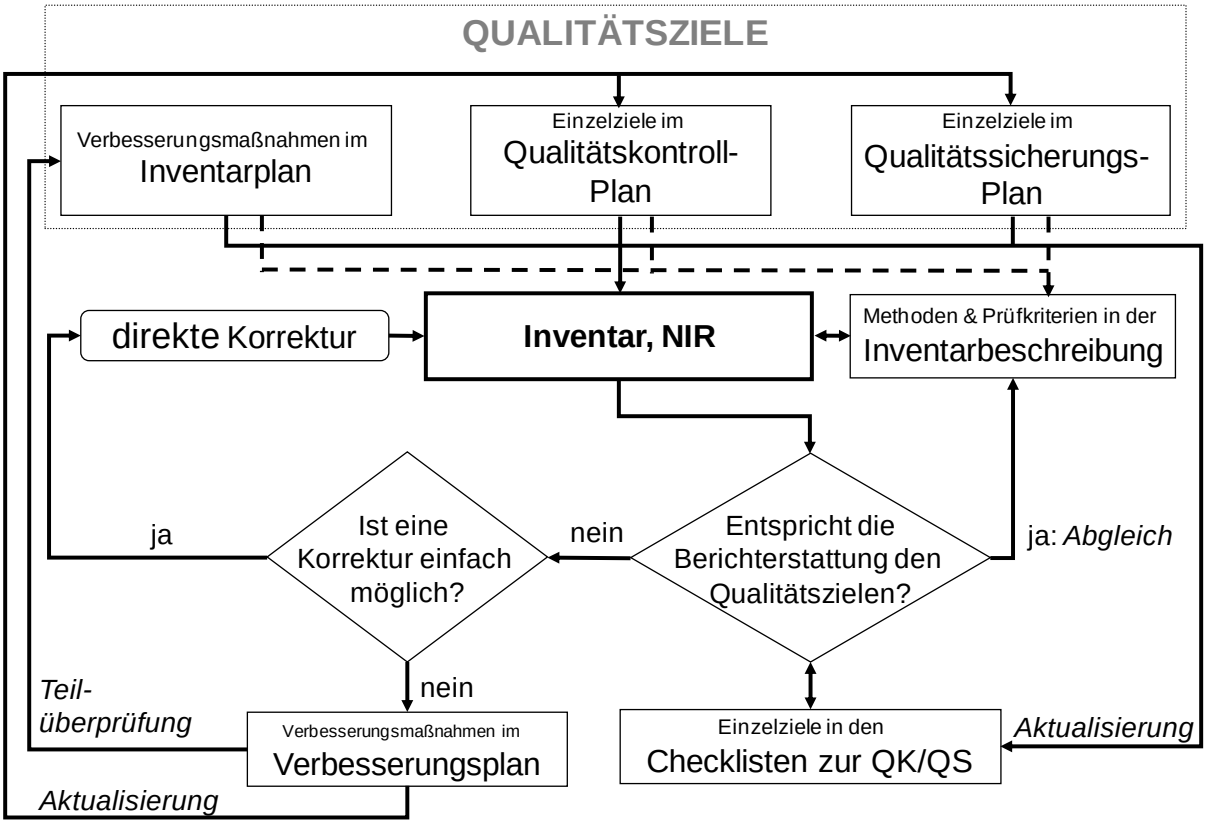


Die durchzuführenden Qualitäts-Prüfungen gemäß Paragraph 25 (f) der *Reporting* Guidelines (24/CP.19)werden den FV, QKV, FAP und dem NIRK (siehe Tabelle 4) in Form von Qualitäts-Checklisten zusammen mit der Datenanforderung zur Verfügung gestellt und im Verlauf der Zuarbeiten ausgefüllt.

1.3.3.1.5 Durchführung von QK/QS-Maßnahmen sowie deren Steuerung und Dokumentation im Qualitätssystem Emissionsinventare

Die mit den Mindestanforderungen an ein QK/QS-System (siehe Kapitel 22.1.2.1) formulierten Anforderungen zur Durchführung, Beschreibung und Dokumentation der QK/QS-Maßnahmen werden weitgehend gemeinsam mit den entsprechenden Inventarbeiträgen umgesetzt. Für das QSE wurde ein Konzept entwickelt, das zielgruppenorientiert und aufgabenspezifisch die Maßnahmen in integrierter Form darstellt. Die einzelnen Bestandteile sind in (einer bezüglich Inventarplan und Qualitätskontrollplan; siehe hierzu auch Kapitel 1.6.1.1 geringfügig vereinfachten) Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 7: Steuerung und Dokumentation von QKQS-Maßnahmen



Die allgemeine Beschreibung der **Qualitätsziele** erfolgt im QSE-Handbuch und leitet sich aus den 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* ab. Darüber hinaus sind für die einzelnen Kategorien operative Einzelziele zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung aus dem Vergleich zwischen den Anforderungen aus den 2006 *IPCC Guidelines*, den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfung, den im NIR gemeldeten Verbesserungsnotwendigkeiten und der Inventarrealität abzuleiten.

Gemäß den Anforderungen der IPCC 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* und Paragraph 19 der *Reporting* Guidelines (24/CP.19) sollen die für die Emissionsberichterstattung notwendigen QK/QS-Maßnahmen in einem QK/QS-Plan zusammengefasst werden. Dabei ist die primäre Aufgabe eines QK/QS-Plans, diese Maßnahmen zu organisieren, zu planen und zu überwachen. Um die Durchführung und Kontrolle von Maßnahmen zur Erreichung der Qualitätsziele transparent und effektiv zu steuern, sind sie im **Qualitätskontrollplan (QK-Plan)** und **Qualitätssicherungsplan (QS-Plan)** rollenspezifisch sowie kategoriespezifisch vorgegeben. Dabei können die Qualitätsziele das Inventar, den Prozess der Berichterstattung oder das QSE selbst zum Gegenstand haben. Im Qualitätssicherungsplan erfolgt zusätzlich die zeitliche Planung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, die sowohl durch interne, im Wesentlichen aber durch unabhängige und externe Dritte vorgenommen werden. Beide Pläne haben den Charakter eines Vorgabedokuments.

In ihrer Struktur sind QK- und QS-Plan mit den **Checklisten zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung** kombiniert, die zur Überprüfung und Dokumentation der erfolgreichen Durchführung der QK/QS dienen. Hierbei sind die Qualitäts-Checks nicht als Prüfungen sondern als Qualitätsziele (data quality objective gemäß 2006 IPCC GL, Vol. 1, Kapitel 6.5) definiert, deren Einhaltung jeweils zu bestätigen oder deren Nichteinhaltung zu begründen ist. Die Checklisten

zur QK/QS sind von den Teilnehmern des NaSE[15] parallel zur Inventarerstellung auszufüllen und dienen zum einen der sofortigen Verbesserung. Falls eine sofortige Verbesserung aber nicht möglich ist, geben sie stattdessen wichtige Auskunft über die Güte der dem Inventar zugrunde liegenden Daten, Methoden und Texte). Die systematische QK/QS in Form von Checklisten wurde vom UBA erstmalig für die Berichterstattung 2006 mit den Teilnehmern des NaSE durchgeführt. Seitdem werden die Checklisten der allgemeinen Qualitätskontrolle in jedem Berichtsjahr und für alle berichteten Kategorien ausgefüllt, also sowohl für Hauptkategorien, als auch für solche, die dies nicht sind. Seit der Berichterstattung 2007 sind die Checklisten in elektronischer Form im Einsatz. Ebenfalls mit der Berichterstattung 2007 wurden die allgemeinen QK-Prüfungen (ehemals Tier 1) um einige kategoriespezifische QK-Prüfungen (ehemals Tier 2), bezogen auf Hauptkategorien, erweitert. Mit den Berichterstattungen 2008, 2009 und 2010 wurden die Checklisten für die Fachexperten und die fachlichen Ansprechpartner umfassend überarbeitet. Ziel der Überarbeitung war es, die Verständlichkeit, Anwendbarkeit und Übersichtlichkeit der Checklisten weiter zu verbessern. Um den Erfolg dieser Verbesserungsaktivität zu gewährleisten wurde eine Auswahl des betroffenen Personenkreises in die Überarbeitung einbezogen. Inhaltliche Anforderungen, sind dabei nicht verändert worden. Die CHKL werden seitdem jährlich auf etwaigen Aktualisierungsbedarf überprüft und ggf. überarbeitet oder ergänzt. Im gleichen Maße wie die Checklisten werden auch QK- und QS-Plan kontinuierlich weiterentwickelt. Mit Berichterstattung 2013 wurden erstmalig die vormals kategoriespezifischen Checklisten der QKV auf eine einzelne übergeordnete Checkliste je QKV umgestellt. Dies geschah im Wesentlichen um die Übersichtlichkeit über den QK/QS-Prozess für das Führungspersonal zu verbessern/erleichtern und aus Gründen der Ressourceneffizienz.

Mit der Berichterstattung 2015 wurden sichergestellt, dass die allgemeinen Checklisten die überarbeiteten Anforderungen der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* erfüllen. Fehlende Anforderungen wurden ergänzt.

Beide Pläne und die QK/QS-Checklisten stellen Instrumente zur Überprüfung der Erfüllung der internationalen Anforderungen dar und ermöglichen die Steuerung der Inventarqualität über die Initiierung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung gemäß Paragraph 13 der *Guidelines for National Systems*.

Im **Verbesserungsplan** werden zunächst alle erkannten Verbesserungsmöglichkeiten (aus Checklisten, NIR-Angaben zu geplanten Verbesserungen, ggf. Auditergebnissen sowie sonstigen Verbesserungsnotwendigkeiten) und zusätzlich die Beanstandungen aus den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfung gesammelt und mit möglichen Korrekturmaßnahmen hinterlegt. Diese Korrekturmaßnahmen werden durch die Nationale Koordinierungsstelle kategorisiert, mit Prioritäten versehen und in Rücksprache mit den Fachverantwortlichen in der Regel vollständig in den **Inventarplan** überführt. Dort werden sie mit Terminen und Verantwortlichkeiten hinterlegt. Der Inventarplan durchläuft als Anhang des NIR den Abstimmungs- und Freigabeprozess und stellt somit ein verbindliches Vorgabedokument für die im kommenden Berichtsjahr umzusetzenden Verbesserungsmaßnahmen dar.

Die **Inventarbeschreibung** wird in der Nationalen Koordinierungsstelle als zentrale Dokumentation für die einzelnen Kategorien geführt. In ihr werden alle wesentlichen Aspekte der Inventarerstellung beschrieben. Alle kategoriespezifischen Arbeiten, die relevant für die Inventarerstellung sind, sind hierin zu dokumentieren. Die Inventarbeschreibung besteht aus einem serverbasierten Ordnersystem, das sowohl auf mobilen Geräten, als auch auf den Arbeitsplatzrechnern der im Rahmen der Emissionsberichterstattung tätigen Personen

[15] Hierzu gehören Fachverantwortliche (FV), Fachliche Ansprechpartner (FAP), Qualitätskontrollverantwortliche (QKV) und der NIRK (Koordinator für den Nationalen Inventar Report)

verfügbar ist. Die Pflicht zur Erstellung der beschriebenen Dokumentationen wurde über eine Hausanordnung (siehe Kapitel 1.3.3.1.1) im UBA festgeschrieben und bildet die wesentliche Grundlage für die Archivierung der Inventarinformationen gemäß den Anforderungen aus Paragraph 27 (a) der *Reporting* Guidelines (24/CP.19).

- Aus vielfältigen Gründen sieht das Dokumentationskonzept, ein überwiegend, aber nicht ausschließlich zentrales Archiv vor. Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren der umfangreiche und teilweise dezentrale Datenbestand, auf dessen Grundlage das deutsche Inventar berechnet wird,
- die teilweise externen Zuständigkeit für diese Daten,
- Aspekte der Geheimhaltung, die aus rechtlichen Gründen einer Weitergabe von Einzeldaten zum Zwecke der Archivierung an einer zentralen Stelle entgegenstehen.

In der Inventarbeschreibung werden Informationen vorgehalten, wo solche nicht zentral hinterlegten Dokumente zu finden sind.

1.3.3.1.6 Das QSE-Handbuch

Mit dem „Handbuch zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Erstellung von Emissionsinventaren und der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen sowie der EU Entscheidung 525/2013/EG“ wurden die internationalen Anforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung für das Nationale System Emissionsinventare (NaSE) in Deutschland spezifiziert. Es gilt verbindlich für das Umweltbundesamt und beschreibt das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE).

Das QSE-Handbuch wurde über eine Hausanordnung im Umweltbundesamt in Kraft gesetzt (siehe Kapitel 1.3.3.1.1). Es ist mit seinen mitgeltenden Unterlagen im Intranet des UBA veröffentlicht.

1.3.3.1.7 Unterstützung UNFCCC-Review

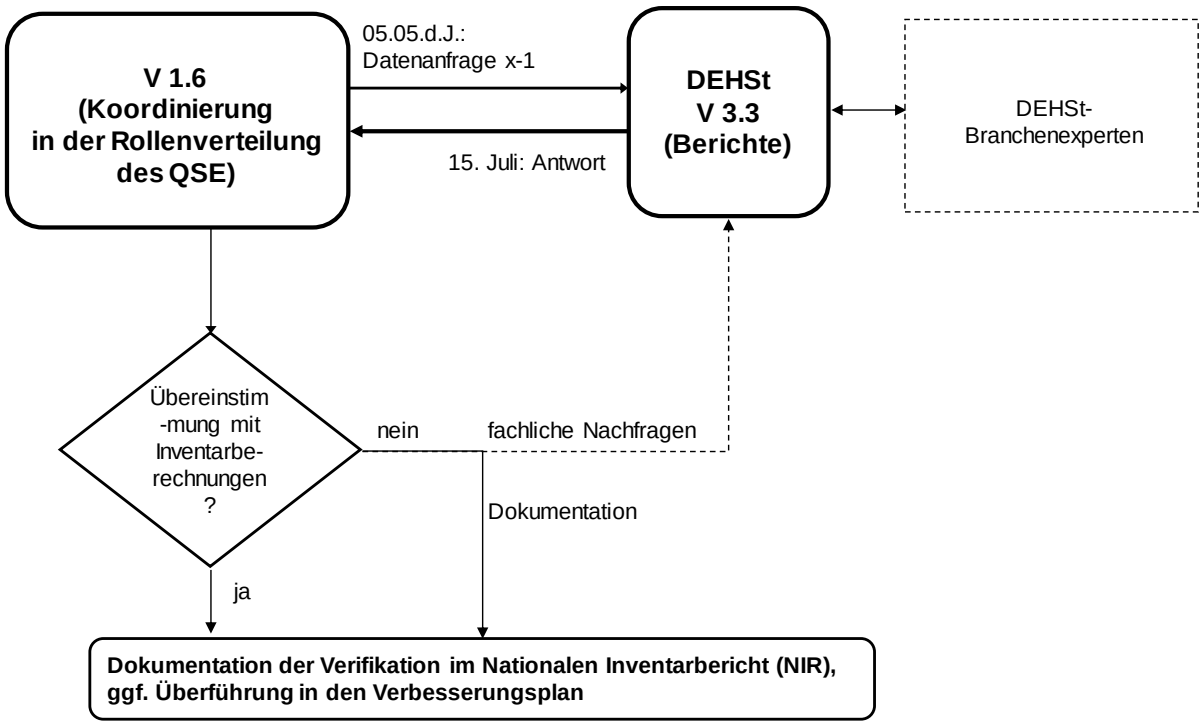
Neben den eigenen Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung geben die Ergebnisse des UNFCCC-Review wichtige Impulse für die Inventarverbesserung. Insofern liegt die Erfüllung der Anforderungen zur Bereitstellung archivierter Inventarinformationen für den Überprüfungsprozess (gemäß Paragraph 27 (b) der *Reporting* Guidelines (24/CP.19)) und der Beantwortung von Fragen der sachkundigen Überprüfungsgruppen (gemäß Paragraph 27 (c) der *Reporting* Guidelines (24/CP.19)) im Eigeninteresse der Nationalen Koordinierungsstelle. Mit entsprechender Priorität wurden diese Aspekte bei der Konzeption des QSE berücksichtigt.

1.3.3.1.8 Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Verbesserung der THG-Emissionsinventare

Für Kategorien, die berichtspflichtige Anlagen unter dem CO_2-Emissionshandelsregime (ETS) beinhalten, werden die Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Qualitätsverbesserung der jährlichen nationalen Emissionsinventare genutzt.

Durchgeführte Vergleiche haben die Nutzbarkeit zur Verifizierung einzelner Kategorien und Identifikation von Fehlstellen prinzipiell bestätigt. Für die regelmäßige Nutzung wurde für den jährlich erforderlichen Datenaustausch ein formalisiertes Verfahren mit terminlichen und ablaufmäßigen Festlegungen vereinbart.

Abbildung 8: Verfahrensablauf für die jährliche Inventar-Verifikation mit ETS-Monitoring-Daten



Zu Details der Datenverwendung in der QK/ QS siehe auch Kapitel 1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien.

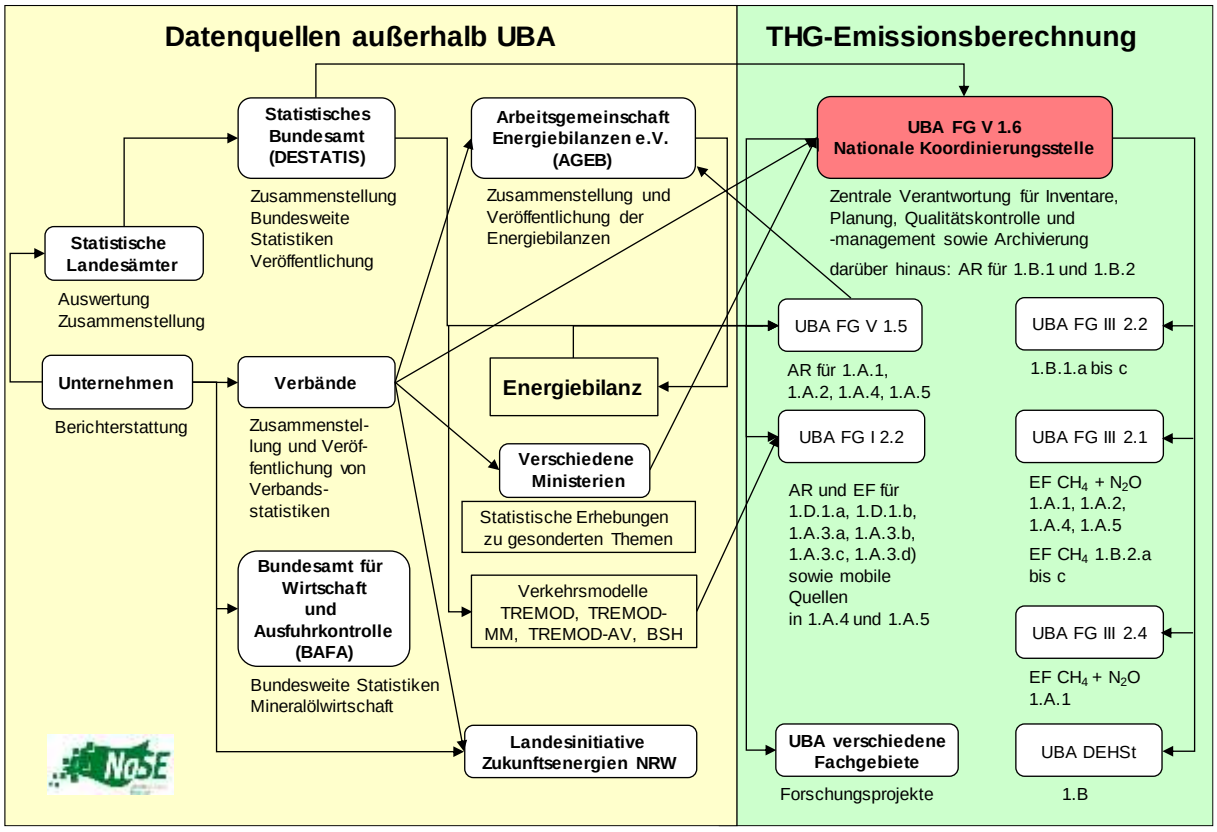
1.4 Kurze, allgemeine Beschreibung der angewandten Methodik und Datenquellen

1.4.1 Treibhausgas-Inventar

1.4.1.1 Datenquellen

1.4.1.1.1 Energie

Abbildung 9: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Energiebereich



Die zentrale Datenquelle für die Ermittlung der Aktivitätsraten für die Kategorie 1.A ist die *„Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland“* (nachfolgend: Energiebilanz), die von der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen* (AGEB) herausgegeben werden und überwiegend auf den amtlichen Statistiken des Statistischen Bundeamtes fußen Für die Erneuerbaren Energien werden der AGEB die Daten für die Energiebilanz von der AGEE-Stat bereit gestellt. Die Energiebilanz bietet eine Übersicht über die energiewirtschaftlichen Verflechtungen innerhalb der Bundesrepublik und erlaubt eine Aufteilung nach Brennstoffen und Kategorien.

Die Beauftragung der AGEB für die Erstellung der Energiebilanzen erfolgte für die Energiebilanzen 2007– 2020 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. In den bisher drei ergangenen Aufträgen wurde die AGEB jeweils vertraglich zur Anwendung der Mindestanforderungen zur Qualitätssicherung des Nationalen Systems verpflichtet. Seit 2012 legt die AGEB einen gemeinsamen Qualitätsbericht für die Energiebilanz vor (siehe Kapitel 18.4.1) und erarbeitet einen Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung (s. Kapitel 18.4.1.1.1), in dem dargelegt wurde wie den Beanstandungen aus der Inventarüberprüfung Rechnung getragen werden soll. Damit wird der Forderung aus Paragraph 39 des Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU) nach einem Aktionsplan entsprochen.

Die wichtigste Datenquelle für die Ermittlung der Aktivitätsraten ist das *Statistische Bundesamt, das auch die wesentliche Datenquelle für die Erstellung der Energiebilanzen darstellt. Für die Inventarerstellung verwendet werden* die *Fachserien 4 Reihe 4.1.1, Reihe 6.4,* und für die Abfalldaten die Fachserie 19. Diese Daten sind zeitnah verfügbar (ungefähr ein Jahr nach Datenerhebung) und bieten insbesondere eine feine Untergliederung des Verarbeitenden Gewerbes. Zur weiteren Differenzierung der Daten und für Detailfragen werden vom Statistischen Bundesamt Sonderauswertungen zur Verfügung gestellt.

Für den Eisen und Stahl Bereich werden seit der Berichterstattung 2012 Daten der Wirtschaftsvereinigung Stahl genutzt, die u.a. den sogenannten BGS-Bogen (Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokerei)) der zum 31.12.2009 eingestellten „Fachserie 4, Reihe 8.1“ ersetzen.

Als zusätzliche Datenquelle wird die *Statistik der Kohlenwirtschaft*, insbesondere deren jährliche Veröffentlichung "*Der Kohlenbergbau in der Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland*" genutzt. Weiterhin werden vom Bundesverband Braunkohle (DEBRIV) Sonderauswertungen zur genaueren Differenzierung der eingesetzten Rohbraunkohlen verwendet. Zusätzlich liefert DEBRIV die nötigen Daten zur Berechnung der Brennstoffeinsätze zur Braunkohlentrocknung.

Eine weitere Datenquelle sind die *Mineralöl-Zahlen* des *Mineralölwirtschaftsverbandes e.V. (MWV)*, die Angaben zum Mineralölaufkommen und –verbrauch in Deutschland, differenziert in verschiedene Erzeugungs-, Umwandlungs- und Anwendungssektoren, enthalten. Die Statistik, die eine wesentliche Grundlage der nationalen Energiebilanz darstellt, wird nur wenige Monate nach Erhebung der Daten veröffentlicht und ist damit relativ zeitnah verfügbar.

Die zur Energieerzeugung eingesetzten Mengen an Sekundärbrennstoffen (verbucht unter CRF 1.A.2) werden dem Leistungsbericht des Verbandes der Papierindustrie und Berichten des Verbandes der Zementindustrie (VDZ) entnommen.

Eine weitere wichtige Datenquelle ist der Emissionshandel (ETS). Dort liegen sehr detaillierte, anlagenspezifische Daten vor, die ebenfalls für das Inventar verwendet werden. Vor allem für die Bereiche, die nicht von der nationalen Statistik erfasst werden, wird auf Emissionshandelsdaten zurückgegriffen:

- brennstoffbezogene CO_2 Emissionsfaktoren für stationäre Feuerungsanlagen,
- Brennstoffeinsätze für Erdgasverdichter,
- Emissionen aus dem Katalysatorabbrand und der Kalzinierung in Raffinerien und
- diffuse Emissionen in Kokereien.

Für die Erhebung der Emissionen des Verkehrs (1.A.3) werden neben den Angaben aus den Energiebilanzen auch die *Amtlichen Mineralöldaten des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)* und die *Mineralöl-Zahlen* des *MWV* verwendet.

Für den Flugverkehr kommen neben den oben genannten Quellen für Verbrauchsdaten u.a. auch Daten des Statistischen Bundesamtes zum Einsatz: Die Aufteilung der Kraftstoffverbräuche und Emissionen auf nationale und internationale Flüge erfolgt anhand realer Flugbewegungsdaten. Diese werden vom Statistischen Bundesamtes erfasst und zur Verfügung gestellt und im Modell TREMOD AV, einem eigenständigen Moduls der Datenbank TREMOD („Transport Emission Estimation Model“) weiterverarbeitet. Ebenfalls anhand der vom Statistischen Bundesamt erfassten Flugbewegungen erfolgt die Aufteilung von Verbräuchen und Emissionen auf die Flugphasen LTO-Zyklus (Landung und Start; unterhalb 3.000 Fuß) sowie Reiseflug (oberhalb 3.000 Fuß).

Leidglich zu Verifikationszwecken werden zudem von Eurocontrol bereitgestellte landesspezifische Verbrauchs- und Emissionsdaten herangezogen.

Für den Straßenverkehr werden die Erhebungen dabei überwiegend mit Hilfe des Modells TREMOD durchgeführt. Für die hier stattfindenden Berechnungen werden zahlreiche Basisdaten aus allgemein zugänglichen Statistiken und speziellen Untersuchungen verwendet, aufeinander abgestimmt und ergänzt. Eine genaue Beschreibung der Datenquellen zu den Emissionsfaktoren findet sich im „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA, Version 4.1).

TREMOD wird dabei ebenfalls zur Modellierung der Emissionen aus der Verbrennung von Kraftstoffen in Schienenfahrzeugen und Binnenschiffen verwendet. Die durch historische Dampfbahnen verursachten Emissionen aus der Verbrennung von Kohle und Koks werden außerhalb TREMOD anhand von Betreiberangaben berechnet.

Im Gegensatz dazu erfolgt die Modellierung der spezifischen Verbräuche und Emissionen des von deutschen Seehäfen ausgehenden Schiffsverkehrs innerhalb eines am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) entwickelten Modells. Die Aufteilung der Kraftstoffverbräuche und Emissionen auf nationale und internationale Fahrten basiert hier auf Daten, die sich u.a. aus den AIS-Meldungen der Schiffe ableiten.

Hinsichtlich der weiteren mobilen Quellen (in 1.A.4. und 1.A.5.) wird ebenfalls auf die Angaben von AGEB, BAFA sowie MWV zurückgegriffen. Eine Sonderstellung nimmt hier der militärische Verkehr (1.A.5.b) ein, für den die ab 1995 nicht mehr in den Energiebilanzen ausgewiesen ausgewiesenen Verbrauchsdaten direkt den BAFA-Statistiken entnommen werden können.

Da gesicherte Angaben zum Einsatz von Biokraftstoffen in mobilen Quellen in Bau-, Land- und Forstwirtschaft sowie Haushalten und Militär fehlen, werden die jährlichen Mengen anhand der offiziellen Beimengungsraten berechnet.

Daten zu den Kategorien der Kategorie 1.B.1 werden aus den Veröffentlichungen der Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), des DEBRIV, der Deutschen Montan Technologie GmbH (DMT) und der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Interessenverband Grubengas e.V. (IVG) herangezogen.

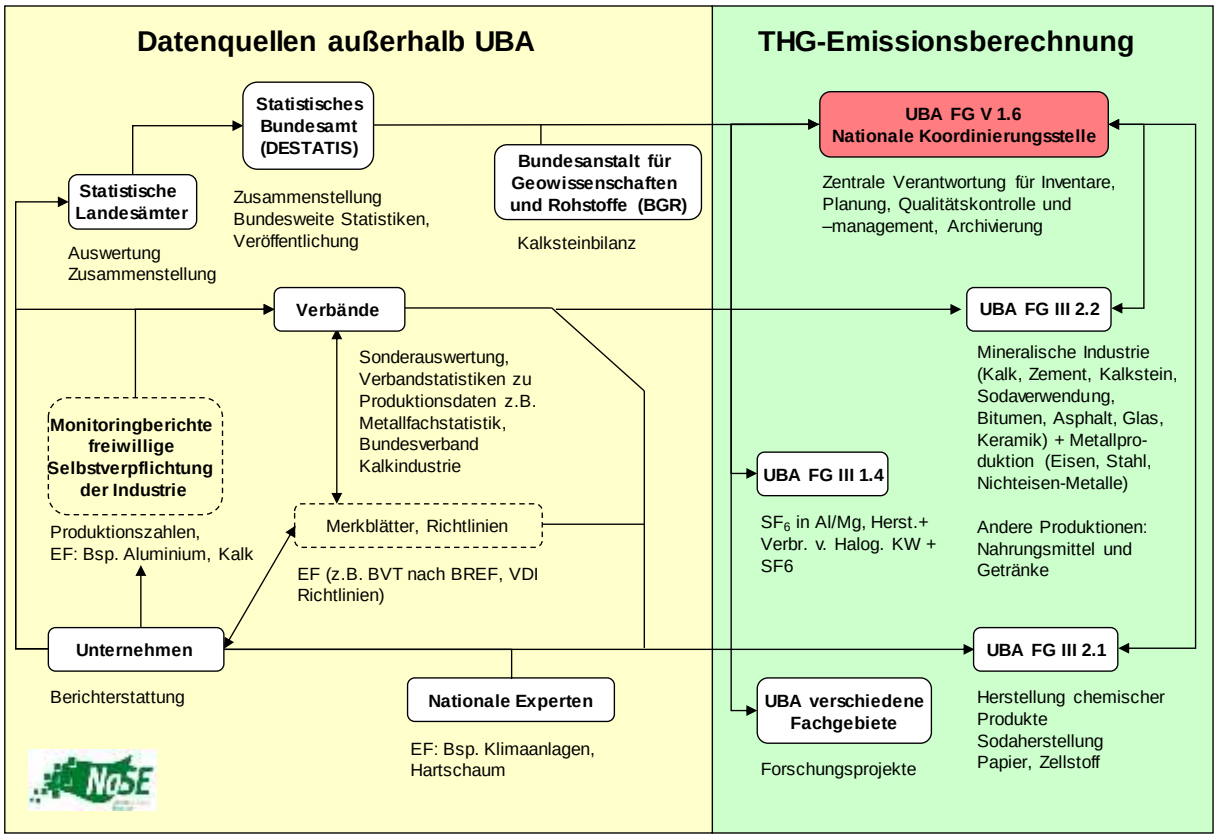
Daten zu den Kategorien der Kategorie 1.B.2 werden aus den Veröffentlichungen des *Statistischen Bundesamtes* Deutschland, des Mineralölwirtschaftverband e.V. (MWV), der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie (BVEG) und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), der Gasstatistik des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) und der Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) herangezogen.

1.4.1.1.2 Industrieprozesse

Für die Aktivitätsdaten der Mineralischen Industrie werden überwiegend Verbandsstatistiken herangezogen. Die Daten für die Zementindustrie (2.A.1) stammen vom Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) bzw. dessen Forschungsinstitut unter Beteiligung des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ). Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die im Rahmen des CO_2-Monitorings der freiwilligen Selbstverpflichtung der Industrie zum Klimaschutz veröffentlichten Daten. Die Produktionszahlen für Kalk und Dolomitkalk (2.A.2) werden vom Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e.V. (BV Kalk) anlagenscharf erhoben und jährlich in aggregierter Form bereitgestellt. Die Produktionszahlen für die Herstellung von Glas (2.A.3) werden den regelmäßig erscheinenden Jahresberichten des Bundesverbandes Glasindustrie entnommen, wobei Hilfsgrößen zum Glasrecycling anderen Statistiken entstammen. Die Produktionsentwicklung der Keramischen Industrie (2.A.4.a) wird unter Verwendung der

amtlichen Statistik und Umrechnungsfaktoren eines Sachverständigen-Projektes berechnet. Die Verwendung von Soda (2.A.4.b) erfolgt durch eine Expertenschätzung des Umweltbundesamtes.

Abbildung 10: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Industrieprozesse



Für die Emissionsfaktoren der Mineralischen Industrie werden vielfältige Quellen genutzt. Der für die Emissionsberechnung der Zementklinkerherstellung (2.A.1) verwendete Emissionsfaktor beruht auf einer Berechnung des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) durch Aggregierung anlagenspezifischer Daten. Die Berechnung der CO_2-Emissionen der Kalkherstellung (2.A.2) und der Sodaverwendung (2.A.4.b) erfolgt über stöchiometrische Faktoren. Die CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (2.A.3) sind von Fachverantwortlichen aus der Glaszusammensetzung und für die Keramische Industrie (2.A.4.a) aus Analysen der ETS-Daten im UBA abgeleitet worden.

In der Kategorie 2.B Chemische Industrie werden die Aktivitätsdaten aus Daten des *Statistischen Bundesamtes (FS 4, R 3.1)* und direkten Hersteller- und Verbandsangaben ermittelt. Teilweise sind diese Daten vertraulich. Die Emissionsfaktoren sind von Experten im UBA, in Forschungsvorhaben oder von den Herstellern ermittelt worden. Für 2.B.1 Ammoniak-Produktion und 2.B.2 Salpetersäure-Produktion wurden bis 2008 die Aktivitätsdaten vom *Statistischen Bundesamt* erhoben. Seit 2009 werden die Daten für Ammoniak- und Salpetersäureproduktion aufgrund einer Vereinbarung mit der chemischen Industrie für die gesamte Zeitreihe ab 1990 von den Herstellern anlagenspezifisch erhoben und an den Verband weiter gegeben, der diese anonymisiert an das UBA weiterleitet. Dafür ermitteln die Hersteller neben der Aktivitätsrate jeweils für 2.B.1 die Emissionen und für 2.B.2 die Emissionsfaktoren. Für 2.B.3 Adipinsäure-Produktion wurden bis Mitte der 90er Jahre anlagenspezifische Aktivitätsdaten geliefert. Für diese wurde der Default-EF für N_2O verwendet. Inzwischen liefern die Anlagenbetreiber auf vertraulicher Basis die Emissionsangaben direkt an das UBA. Auch für

Adipinsäure ist durch eine Vereinbarung im Jahr 2009 die Datenlieferung langfristig gesichert worden. In 2.B.4 spielen nur N_2O-Emissionen aus der Herstellung von Caprolactam eine Rolle. Sie liegen aber unter dem Schwellenwert und werden deshalb nicht berichtet. Da es für die Calciumcarbid-Produktion (2.B.4) in Deutschland nur einen Hersteller gibt, sind die Daten vertraulich. Das Umweltbundesamt erhält diese direkt vom Hersteller. Die CO_2-Emissionen aus der Titandioxidproduktion liegen unter dem Schwellenwert, weshalb sie nicht berichtet werden (2.B.6). Die Gesamtsumme an produziertem Soda (2.B.7) wird vom Statistischen Bundesamt erhoben. Die Emissionsfaktoren wurden aus den ETS Monitoringdaten der DEHSt abgeleitet. Für die Herstellung der unter 2.B.8 Petrochemikalien- und Industrierußherstellung aufgeführten Produkte werden die Aktivitätsdaten aus Statistiken des *Statistischen Bundesamtes* entnommen; teilweise unterliegen sie einer Vetraulichkeit. Die Emissionsfaktoren stammen aus Experten-Schätzungen, Forschungsvorhaben und Default-Angaben der IPCC-Guidelines. Für die Industrierußproduktion werden die für das ETS gemeldeten CO_2 Emissionen genutzt und über den Default-EF auf die Aktivitätsrate rückgerechnet. Im Bereich der Produktion der halogenierten Kohlenwasserstoffe und SF_6 (2.B.9) werden die Daten über *Herstellerangaben* und *Umfragen bei Herstellern* ermittelt. Die Aktivitätsdaten werden zum überwiegenden Teil im Rahmen von Forschungsprojekten gezielt nach den Anforderungen des Inventars recherchiert, z.T. werden nur Emissionsdaten vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Es sind in den einzelnen Unterkategorien jeweils nur wenige Unternehmen involviert, so dass diese Bereiche der Vertraulichkeit unterliegen. Unter 2.B.10 Sonstige werden Emissionen von Vorläufersubstanzen aus der Produktion von Schwefelsäure und Düngemittel berichtet. Die Aktivitätsdaten stammen aus Herstellerangaben, und Daten des Statistischen Bundesamtes. Die Emissionsfaktoren stammen aus Experten-Schätzungen und Forschungsvorhaben.

Die Aktivitätsdaten der Metallindustrie (2.C) werden vom Statistischen Bundesamt den einschlägigen Verbänden (Stahlinstitut VDEh, Wirtschaftsvereinigung Metalle und Gesamtverband der Aluminiumindustrie) und Industriegasehändlern geliefert. Die Emissionsfaktoren der Metallindustrie (2.C) werden in der Regel durch die Facheinheiten im Umweltbundesamt berechnet, z.T. werden Emissionsfaktoren von Industrieverbänden zur Verfügung gestellt oder auch IPCC Default Werte benutzt.

Eine Ausnahme bildet die Kategorie Ferroalloys, hier werden die Aktivitätsdaten aus einer Statistik des UK Geological Survey verwendet, die Emissionsfaktoren stammen aus einem Forschungsvorhaben bzw. es werden auch IPCC Default Werte genutzt.

In der Kategorie 2.D Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen und Lösemittel stammen die Aktiviätsraten aus veröffentlichten Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und anderer Bundesbehörden (Produktions- und Außenhandelsstatistik, Mineralölstatistik) sowie von den einschlägigen Verbänden (Industrieverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e.V. (vdd), Deutscher Asphaltverband (DAV). Die Aktivitätsdaten werden ergänzt durch Branchenstatistiken und Informationen von Fachexperten.

Die Emissionsfaktoren stammen aus unterschiedlichen Quellen: so werden die Emissionsfaktoren für die Paraffinwachsanwendung (2.D.2) mit Hilfe von IPCC-Default-Werten berechnet. Die Emissionsfaktoren für Schmierstoffanwendung (2.D.1) stammen aus einem Forschungsvorhaben, wobei NMVOC-Emissionen gemäß 2006 IPCC-Richtlinie als CO_2-Emissionen angegeben werden. Und die Emissionsfaktoren für die Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen (2.D.3) sowie für die Herstellung von Asphaltmischgut (2.D.3) beziehen sich nur auf NMVOC und sind Forschungsberichten entnommen.

Die Emissionsfaktoren und die anderen Parameter, die in die Berechnung der Emissionen aus der Lösemittelverwendung eingehen, sind nationalen Studien und Fachgutachten oder vom UBA

direkt beauftragten Forschungsprojekten entnommen, teilweise basieren sie auch auf Expertenangaben aus Branchendialogen.

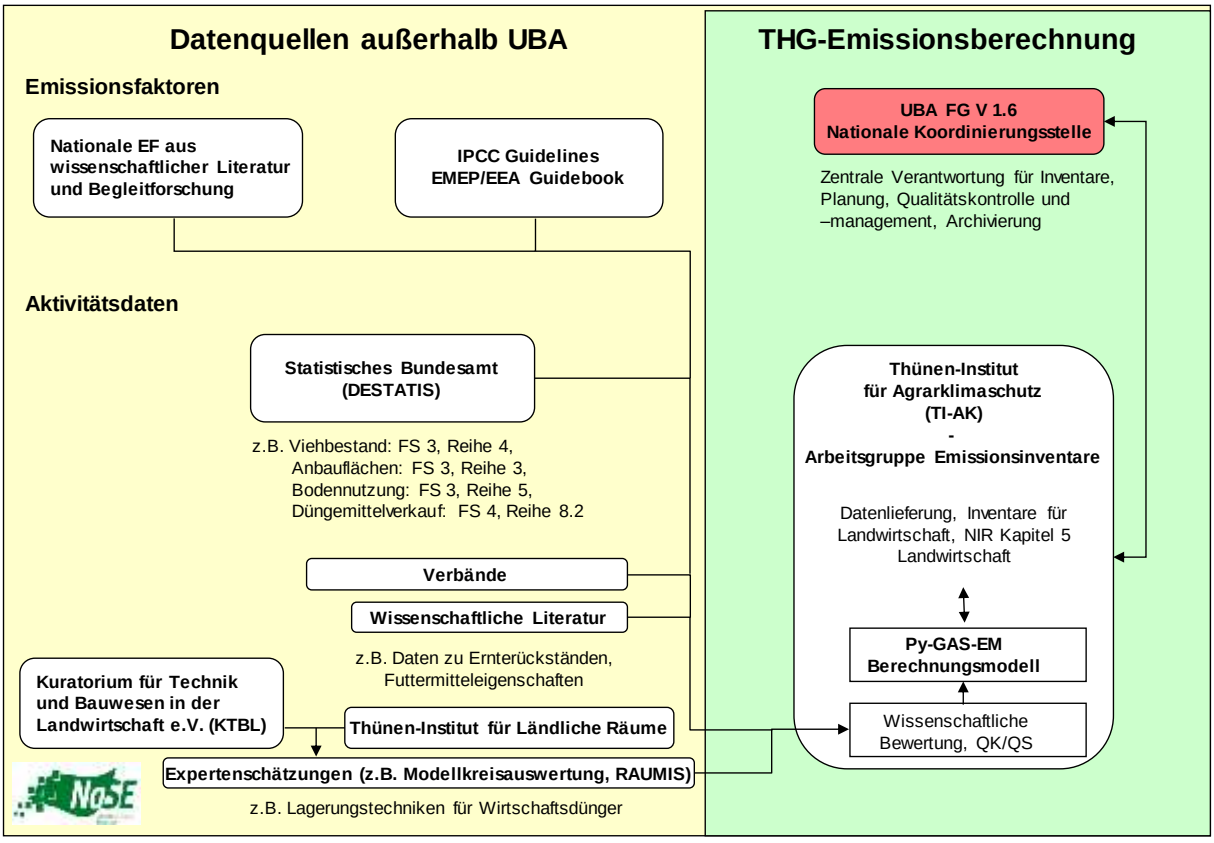
Genauere Angaben zu den Emissionsfaktoren sind in der Methodenbeschreibung der einzelnen Kategorien zu finden. Die Aktivitätsdaten für die Elektronikindustrie (2.E), die Produktverwendung als Ersatz von ODS (2.F) und Andere Produktherstellung und –verwendung (2.G) werden aus Hersteller- und Verbandsangaben, aus Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und anderer Bundesbehörden, sowie mit Hilfe von Berechnungsmodellen ermittelt. In Einzelfällen liegen auch direkt vom Hersteller Emissionsangaben vor. Die Daten unterteilen sich in mehrere Subkategorien. Die Produktverwendung als Ersatz von ODS unterteilt man außerdem in Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungsemissionen. Auch in diesen Kategorien unterliegen die Daten in einigen Bereichen der Vertraulichkeit.

Die Emissionsfaktoren für die fluorierten Treibhausgase werden teilweise aus nationalen und internationalen Merkblättern und Richtlinien entnommen, aus Expertenbefragungen gewonnen oder es werden IPCC Default-Werte übernommen.

Im Bereich 2.H.1 Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung werden die Daten des Leistungsberichtes des Verbandes Deutscher Papierfabriken verwendet. Im Bereich 2.H.2 Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke werden Daten der Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie (BVE), des Statistischen Bundesamtes und des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) genutzt. Emissionsfaktoren stammen aus einem Forschungsvorhaben, das 2008 abgeschlossen wurde.

1.4.1.1.3 Landwirtschaft

Abbildung 11: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft



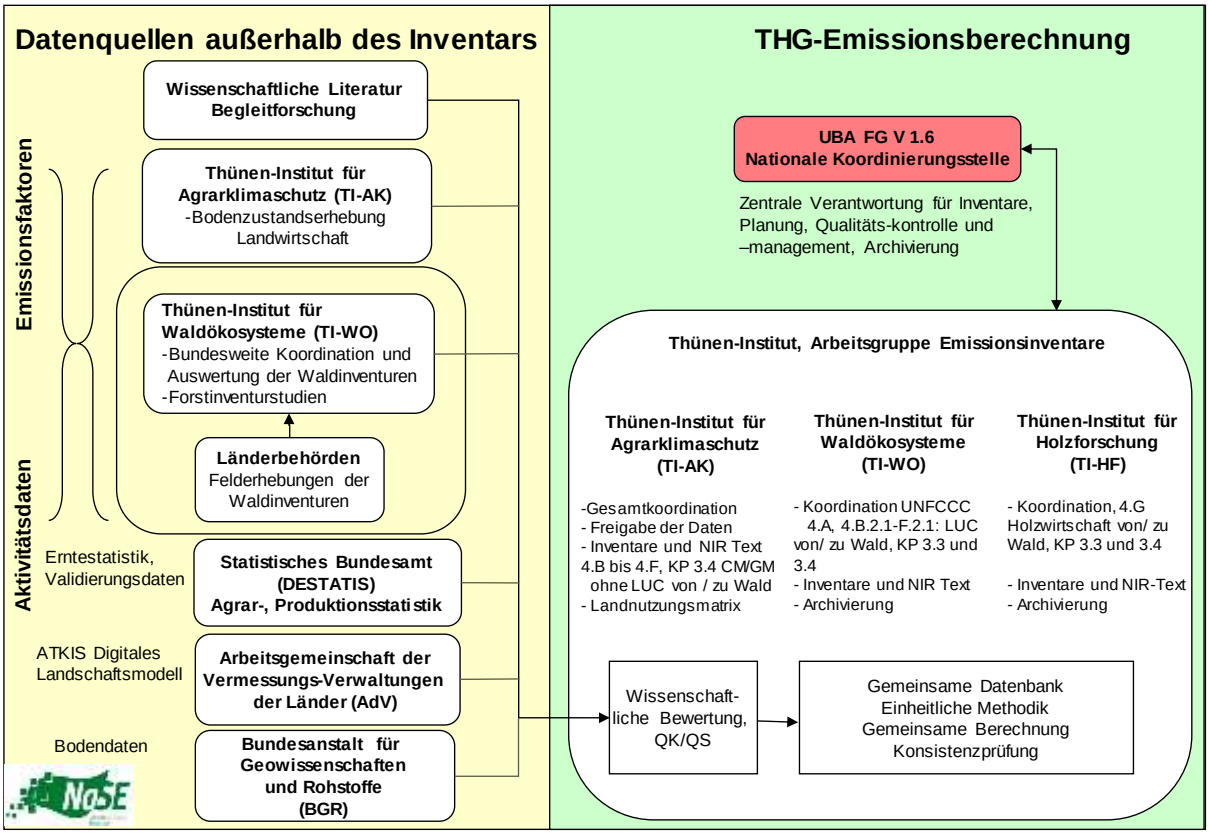
Die Berechnungen der Emissionen für die Kategorie 3 (Landwirtschaft) erfolgen durch das Thünen-Institut (TI). Zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen in Deutschland wurde von BMUB und BMEL ein Projekt initiiert, wonach die damalige FAL ein modulares Tabellenkalkulations-Modell (GASeous EMissions, GAS-EM) entwickelte ((Dämmgen et al., 2002; Vos et al., 2022) & welches für die Submission 2022 in der Programmiersprache python implementiert wurde (Py-GAS-EM).

Die Agrarstatistik des Statistischen Bundesamtes stellt eine wesentliche Datenquelle für die Berechnung der Landwirtschaftsemissionen dar. Die Tierzahlen sind der Fachserie 3, Reihe 4 des Statistischen Bundesamtes entnommen *(STATISTISCHES BUNDESAMT, FS 3, R 4)*, weitere Fachserien stellen die verkauften Düngermengen oder die Angaben zu landwirtschaftlichen Anbauflächen zur Verfügung. In einzelnen Bereichen werden diese Daten aus der Literatur ergänzt (z.B. Ernterückstände, Futtermittelgaben). Daneben liegen Daten aus speziellen Expertenschätzungen vor (beispielsweise eine Auswertung von Modell-Landkreisen hinsichtlich Lagerungstechniken für Wirtschaftsdünger).

Die Berechnungen im Bereich Landwirtschaft basieren in vielen Bereichen auf stark differenzierten Aktivitätsdaten, die auf der Basis nationaler Datenquellen erhoben worden sind. Die Aktivitätsdaten werden in Abhängigkeit von den Emissionsquellen mit nationalen Emissionsfaktoren oder den Standard-Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines und des EMEP/EEA-Handbuchs der United Nation Economic Commission for Europe (UN ECE) kombiniert.

1.4.1.1.4 Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Abbildung 12: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und KP-LULUCF



In der Submission 2012 wurde eine konsistente einheitliche Methodik zur Erfassung von Landnutzungsänderungen im LULUC-Sektor und der Forstwirtschaft eingeführt. Die Methodik

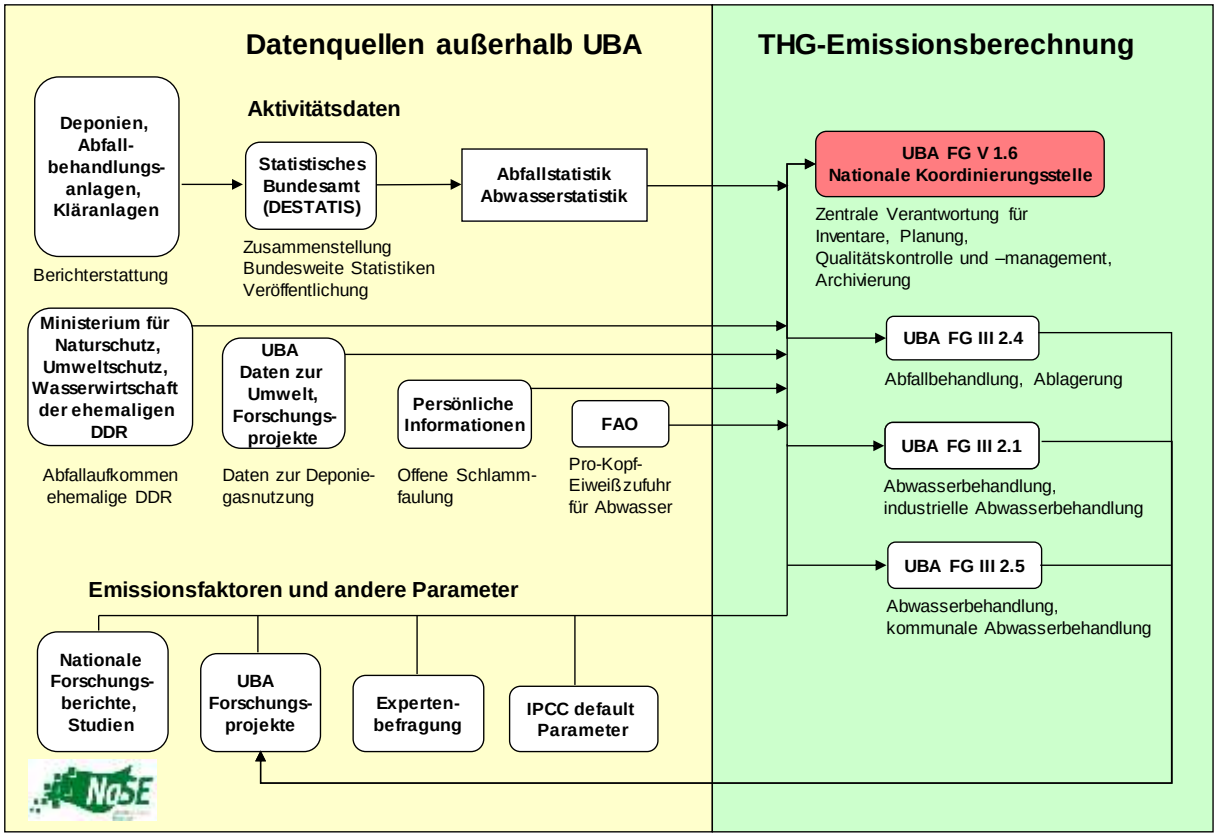
erweitert das stichprobenbasierte System für die Erfassung der Waldfläche und der Landnutzungsänderungen von und zu Wald auf alle Landnutzungskategorien und –änderungen. In der aktuellen Submission wurde die Methode zur Erstellung der Landnutzungsmatrix angepasst und erweitert und die Emissionsberechnung am Stichprobenpunkt eingeführt.

Die Bodenkohlenstoffvorratsschätzung wird an Hand von nutzungsdifferenzierten Bodenkarten und Bodenprofildaten und der Bodenzustandserhebungen im Wald und auf landwirtschaftlichen Flächen (BZE) vorgenommen und die Veränderungen dieser Vorräte infolge Nutzungsänderungen mittels Änderungen in den mittleren Vorräten je Landnutzungskategorie abgeschätzt.

Die Schätzung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse erfolgt anhand der Angaben der Erntestatistik, der Bodennutzungshaupterhebung, der Bundeswaldinventuren (BWI) und spezifischer Faktoren aus der wissenschaftlichen Literatur in Verbindung mit den Flächendaten.

1.4.1.1.5 Abfall und Abwasser

Abbildung 13: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Abfall und Abwasser



Für die Berechnung der Emissionen aus dem Bereich Abfall ist bezüglich der Methodik und der Wahl der Parameter und Daten für die Berechnungen das UBA-Fachgebiet *Abfalltechnik und Abfalltransfer* (FG III 2.4) zuständig.

Für die Aktivitätsdaten im Bereich Abfall wird hauptsächlich auf veröffentlichte Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen, das detaillierte und disaggregierte Zeitreihen liefert. Genaue Angaben, welche statistischen Fachserien und Quellen genutzt wurden, sind im Abschnitt Abfall enthalten. Das Statistische Bundesamt hat keine Daten zu Abfallmengen der ehemaligen DDR veröffentlicht. Hier wurde auf eine offizielle Quelle des Ministeriums für Naturschutz, Umweltschutz und Wasserwirtschaft der ehemaligen DDR zurückgegriffen. Die

Berechnungen der Deponiegasnutzung basieren auf Daten der Energiebilanzen und der Fachserie 19 des Statistischen Bundesamtes. Im Rahmen des In-Country-Review 2010 wurde die Datenbasis für die Deponiegasnutzung aktualisiert. Daten der Gasfassung bei Deponien in der Nachsorgephase werden seit 2012 statistisch erfasst.

Die Emissionsfaktoren und die anderen Parameter, die in die Berechnung der Emissionen aus der Abfalldeponierung, der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung und der Kompostierung eingehen, stammen aus nationalen Studien und Forschungsberichten, aus vom UBA direkt beauftragten Forschungsprojekten. Darüber hinaus wurden auch IPCC default Parameter genutzt. Zu einigen wenigen Parametern (z.B. Wahl der Halbwertszeit) wurden einzelne Experten befragt. Im entsprechenden Kapitel ist genauer dokumentiert, welche Parameter aus welchen Quellen stammen.

Für die Berechnung der Emissionen aus dem Bereich der industriellen Abwasser- und Schlammbehandlung (5.D.2) ist bezüglich der Methodik und der Wahl der Parameter und Daten für die Berechnungen das UBA-Fachgebiet *Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie, Feuerungsanlagen* (III 2.1) zuständig. Für die Berechnung der Emissionen aus dem Bereich der kommunalen Abwasser- und Schlammbehandlung (5.D.1) ist bezüglich der Methodik und der Wahl der Parameter und Daten für die Berechnungen das UBA-Fachgebiet *Überwachungsverfahren, Abwasserentsorgung* (FG III 2.5) zuständig.

Für die Aktivitätsdaten im Bereich Abwasser wird hauptsächlich auf veröffentlichte Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen, das detaillierte und disaggregierte Zeitreihen liefert. Genaue Angaben, welche statistischen Fachserien und Quellen genutzt wurden, sind im Abschnitt Abwasser enthalten. Für die Pro-Kopf-Eiweiß-Zufuhr werden Daten der FAO verwendet.

Die Emissionsfaktoren und die anderen Parameter, die in die Berechnung der Emissionen aus der Abwasserbehandlung eingehen, stammen aus nationalen Studien und aus vom UBA direkt beauftragten Forschungsprojekten. Zudem werden IPCC default Parameter genutzt. Zu einigen wenigen Parametern und methodischen Fragen (z.B. Auftreten von CH_4–Emissionen in aeroben Abwasserbehandlungsverfahren) wurden verschiedene Experten direkt befragt.

1.4.1.2 Methoden

Die verwendeten Methoden für die einzelnen Kategorien werden in den Übersichtstabellen der einzelnen Kategorien und in den Summary Tables 3s1 und 3s2 der CRF-Berichtstabellen dargestellt. Zudem ist eine ausführliche Beschreibung in den jeweiligen Kategorienkapiteln zu finden.

Unterschieden werden Berechnungen nach länderspezifischen Methoden (CS – country specific), und nach in den einzelnen Kategorie unterschiedlich detaillierten IPCC Berechnungsmethoden (engl. *Tier)*[16]. Die Zuordnung der Berechnung zu den verschiedenen IPCC-Methoden hängt vom Anteil der Äquivalentemission der Kategorie an der Gesamtemission ab. Diese Zuordnung wird durch das Instrument der Key-Category Analyse getroffen (siehe hierzu Kapitel 1.5).

Die in indirektes CO_2 umgerechneten NMVOC Emissionen der Lösemittelverwendung werden auf Basis eines produktverbrauchs-orientierten Ansatzes gemäß den 2006 IPCC Guidelines berechnet. Ein ähnliches Verfahren wird bei der Schmiermittelanwendung eingesetzt.

16 Tier 1 bezeichnet die jeweils einfacheren, mit weniger Eingangsdaten benutzbaren Berechnungsmethoden, während Tier 2 bzw. Tier 3 differenziertere Eingangsdaten benötigen und somit üblicherweise zu genaueren Ergebnissen führen.

1.4.2 KP-LULUCF-Aktivitäten

Die unter der KP-Berichterstattung verwendeten Datenquellen und Methoden unterscheiden sich nicht von den verwendeten Datenquellen und Methoden der Berichterstattung der Kategorien der CRF Kategorien 4.A, 4.B, 4.C und 4.G unter UNFCCC. Daher gibt es diesbezüglich keine Unterschiede. Siehe auch Kapitel 1.4.1.1.4 sowie Kapitel 6.1.

1.5 Kurzbeschreibung der Hauptkategorien

1.5.1 Treibhausgas-Inventar (mit und ohne LULUCF)

Zur Festlegung der Hauptkategorien wurden beide Methode 1-Verfahren Level (für das Basisjahr, 1990 und das aktuellste Jahr) sowie Trend (für das aktuellste Jahr gegenüber dem Basisjahr) für die deutschen Treibhausgasemissionen angewendet. Zusätzlich wurde auch das Methode -2-Verfahren angewendet. Es wurden entsprechend den IPCC-Vorgaben für das Methode -1-Verfahren hierbei nicht nur die Emissionen aus Quellen sondern auch die Einbindung der Treibhausgase in Senken in den Analysen berücksichtigt. Dazu werden die Analysen zunächst nur für die Emissionen aus den Quellen des Anhang 1 der Klimarahmenkonvention durchgeführt und in einem zusätzlichen zweiten Durchlauf die Einbindung der Treibhausgase in die Senken einbezogen. Alle festgelegten Hauptkategorien ergaben sich entweder durch die Levelanalysen oder die Trendbewertung oder die Methode -2-Hauptkategorienanalyse auf Basis der aktuellen Unsicherheitenbestimmung. Durch die Bewertung qualitativer Aspekte sind keine neuen Hauptkategorien hinzugekommen (Erläuterungen hierzu siehe Anhangkapitel 17.1.2).

Im Ergebnis wurden in der aktuellen Berichterstattung im Methode -1-Verfahren insgesamt 48 der untersuchten 172 Quell- bzw. Senkengruppen als Hauptkategorie identifiziert. 34 hiervon wurden gleichzeitig durch die Trend- und Levelanalysen als Hauptkategorie ermittelt. Zusätzlich wurden 11 Kategorien nur durch die Trend- bzw. 3 Kategorien nur durch die jeweiligen Levelanalysen als Hauptkategorie identifiziert. Im Methode-2-Verfahren wurden 9 weitere Hauptkategorien identifiziert (s. Tabelle 8).

Letztendlich wurden damit 51 Hauptkategorien festgelegt, die in Tabelle 5 zusammengefasst dargestellt sind.

Tabelle 5: Anzahl der Kategorien und Hauptkategorien

Kategorie			**171**
			Hauptkategorien
nach Level	Level & Trend	Trend	
3	34	11	**48 (Methode 1)** **+9 (Methode 2)** **57 (gesamt)**

Eine Übersicht der Ergebnisse der Hauptkategorienanalyse nach Methode 1 ist in Tabelle 6 zusammengestellt. In Tabelle 8 sind die aufgrund der Methode 2 Analyse hinzugekommenen Hauptkategorien dargestellt. Detaillierte Darlegungen zur durchgeführten Hauptkategorien-Analyse sind im Anhang 1 (Kapitel 17) dieses Berichts zusammengestellt.

Gegenüber den im vergangenen Jahr ermittelten Ergebnissen haben sich nur geringe Änderungen ergeben. Die Anzahl der Hauptkategorien nach Methode-1-Analyse hat sich mit 48 Hauptkategorien um drei erniedrigt.

Es sind keine Hauptkategorien hinzugekommen.

Drei Hauptkategorien sind weggefallen.

- C_2O Emissionen aus Transport – Ziviler Luftverkejr (1.A.3.a)

- CH_4 Emissionen aus Haushalten (1.A.4.b)
- CO_2 Emissionen aus Siedlungen (4.E)

Deutschland wendet alle empfohlenen Verfahren für die Ermittlung bzw. Bewertung der Quellkategorien an. Die 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 1, Ch. 4.3) schreiben vor dass 95% der Emissionen aus Quellen bzw. Einbindungen in Senken als Hauptkategorien festgelegt werden müssen. Da die Festlegung der Hauptkategorien in Deutschland durch die Kombination der Ergebnisse aller Analysenverfahren und Bewertungen erfolgt, werden insgesamt die verursachenden Aktivitäten für ca. 98 % des Inventars als Hauptkategorien identifiziert. Ein Vergleich der Hauptkategorienanalyse des CRF Reporters mit der von Deutschland hat ergeben, dass diese nur geringfügig voneinander abweichen. Im Ansatz bestehen kleine Unterschiede, so wird im Energiebereich von Deutschland in Unterkategorien unterschieden und beim CRF Reporter in Brennstofftypen differenziert. Die Anzahl der Hauptkategorien ist nahezu gleich.

1.5.2 Inventar einschließlich der KP-LULUCF Berichterstattung

Im Ergebnis der im vorherigen Kapitel beschriebenen Analyse des UNFCCC-Inventars erwiesen sich die CO_2-Emissionen/Einbindungen der Kategorien *Forest Land* (4.A), *Cropland* (4.B), *Grassland* (4.C), Wetlands (4.D) und Settlements (4.E) als Hauptkategorie. Für diese Kategorien wurde unter Anwendung der methodischen Vorgaben des Kapitels „2.3.6 choice of method“ der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol weitere detaillierte Analysen durchgeführt. Im Ergebnis wurden die in Tabelle 7 festgelegten Unterkategorien als Hauptkategorien für das KP-LULUCF-Inventar nach Artikel 3.3 identifiziert. Ausschlaggebend hierfür war die Höhe des Emissionsbeitrages bzw. der Emissionstrend. Unter Anwendung der Tabelle 2.1.1 wurden diesen Kategorien die entsprechend Artikel 3.4 gewählten Aktivitäten gegenüber gestellt. Deutschland hat unter diesem Artikel des Kyoto-Protokolls Waldbewirtschaftung, Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung gewählt. Diese Ergebnisse sowie die für die Auswahl angewendeten Kriterien enthält CRF-Tabelle NIR.3 (Tabelle 529 in Kapitel 17.1.4).

Tabelle 6: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH4	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 3 b, Road Transport		CH4	-	-	-	-	-	-	●	-	-/T
1 A 3 b, Road Transport		N2O	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO2	-	●	-	●	-	-	-	-	L/-
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 4 a, Commercial/Institutional		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 B 1, Solid Fuels		CH4	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 B 2 b, Natural Gas		CH4	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
2 A 1, Cement Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 A 2, Lime Production		CO2	●	●	●	●	●	●	-	●	L/T
2 B 1, Ammonia Production		CO2	●	●	●	●	●	●	-	●	L/T
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 3, Adipic Acid Production		N2O	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 C 1, Iron and Steel Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 C 3, Aluminium Production		CF4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-125	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-134a	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-143a	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 G, Other Product Manufacture and Use		N2O	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 G, Other Product Manufacture and Use		SF6	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
3 B, Manure Management	swine	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 D, Agricultural Soils		N2O	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 G, Liming		CO2	-	-	-	-	-	-	-	●	-/T
3 J, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
4 A, Forest Land		CO2		●		●		●		●	L/T
4 B, Cropland		CO2		●		●		●		●	L/T
4 C, Grassland		CO2		●		●		●		●	L/T
4 D, Wetlands		CO2		●		●		●		●	L/T
4 G, Harvested Wood Products		CO2		-		-		●		●	L/T
5 A, Solid Waste Disposal		CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	-	-	-	-	-	-	●	-	-/T
5 D 1, Domestic Wastewater		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T

Tabelle 7: Ergebnis der Hauptkategorienanalyse KP-LULUCF

Kategorie	gewählte KP Aktivitäten (siehe KP supplement Table 2.1.1)	Substanz	1990	2020	1990	2020
4.A.1 Forest Land remaining Forest Land	FM	CO2	19.851,2	46.350,7	●	●
4.A.1 Forest Land remaining Forest Land	FM	CH4	1,5	1,3	-	-
4.A.1 Forest Land remaining Forest Land	FM	N2O	1,1	1,1	-	-
4.A.2 Land converted to Forest Land	AR	CO2	144,1	98,8	●	●
4.A.2 Land converted to Forest Land	AR	CH4	0,0	0,1	-	-
4.A.2 Land converted to Forest Land	AR	N2O	0,4	0,1	-	-
4.B.1 Cropland remaining Cropland	CM	CO2	10.699,7	7.611,3	●	●
4.B.1 Cropland remaining Cropland	CM	CH4	5,4	2,8	-	-
4.B.2 Land converted to Cropland	D, CM	CO2	3.062,7	9.044,7	●	●
4.B.2 Land converted to Cropland	D, CM	CH4	0,5	2,2	-	-
4.B.2 Land converted to Cropland	D, CM	N2O	0,8	2,2	-	-
4.C.1 Grassland remaining Grassland	GM	CO2	26.792,6	23.067,6	●	●
4.C.1 Grassland remaining Grassland	GM	CH4	32,8	34,2	-	-
4.C.1 Grassland remaining Grassland	GM	N2O	0,2	0,4	-	-
4.C.2 Land converted to Grassland	D, CM, GM	CO2	409,1	4.998,9	●	●
4.C.2 Land converted to Grassland	D, CM, GM	CH4	2,1	4,3	-	-
4.C.2 Land converted to Grassland	D, CM, GM	N2O	0,0	0,0	-	-
4.D.1 Wetlands remaining Wetlands	-	CO2	3.597,6	3.593,3	●	●
4.D.1 Wetlands remaining Wetlands	-	CH4	12,6	12,7	-	-
4.D.1 Wetlands remaining Wetlands	-	N2O	0,1	0,1	-	-
4.D.2 Land converted to Wetlands	D, CM, GM	CO2	108,1	858,9	●	●
4.D.2 Land converted to Wetlands	D, CM, GM	CH4	0,8	14,7	-	-
4.D.2 Land converted to Wetlands	D, CM, GM	N2O	0,0	0,0	-	-
4.E.1 Settlements remaining Settlements	-	CO2	2.057,5	1.581,4	●	●
4.E.1 Settlements remaining Settlements	-	CH4	1,8	1,6	-	-
4.E.1 Settlements remaining Settlements	-	N2O	0,5	0,4	-	-
4.E.2 Land converted to Settlements	D, CM, GM	CO2	280,9	505,6	●	●
4.E.2 Land converted to Settlements	D, CM, GM	CH4	0,1	1,0	-	-
4.E.2 Land converted to Settlements	D, CM, GM	N2O	0,1	0,7	-	-
4.F.1 Other Land remaining Other Land		CO2	0,0	0,0	-	0,0
4.F.2 Land converted to Other Land	D, CM, GM	CO2	0,0	0,0	-	0,0

Kategorie	gewählte KP Aktivitäten (siehe KP supplement Table 2.1.1)	Substanz	1990	2020	1990	2020
4G Harvested wood products	FM	CO2	1.330,4	8.651,3	●	●

Tabelle 8: Hauptkategorien für Deutschland, die sich nur aufgrund des Methode 2-Ansatzes ergeben

IPCC Source Categories	Activity	Emissions of
1 A 4 b, Residential		CH_4
3 B, Manure Management	dairy cows	N_2O
3 B, Manure Management	deposition	N_2O
4 B, Cropland		N_2O
4 C, Grassland		CH_4
4 D, Wetlands		CH_4
4 E, Settlements		N_2O
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N_2O
5 D 1, Domestic Wastewater		N_2O

1.6 Informationen zum Qualitätssicherungs- und –kontrollplan sowie zum Inventarplan inklusive Verifizierung und zum Umgang mit vertraulichen Informationen

1.6.1 Prozeduren zu Qualitätssicherung- und –kontrolle

1.6.1.1 QK/QS-Plan

Gemäß den Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines sollen die für die Emissionsberichterstattung notwendigen QK/QS- und Verifikationsmaßnahmen in einem QK/QS-Plan zusammengefasst werden. Dabei ist die primäre Aufgabe eines QK/QS-Plans, diese Maßnahmen zu organisieren, zu planen und die Durchführung sicherzustellen.

Das grundlegende Ziel des **QK-Plans**, sowie des Nationalen Systems ist es, das gesamte Inventar, in jedem Jahr einer vollständigen QK entsprechend den Guidelines zu unterziehen, unabhängig davon, ob es sich um Hauptkategorien handelt oder um solche, die dies nicht sind. Der QK-Plan besteht daher aus den Checklisten zur QK/QS (siehe Kapitel 1.6.1.2) und dem Inventarplan (siehe Kapitel 1.6.1.3). Eine nahezu identische Herangehensweise wird auch beim QS-Plan verfolgt, was bedeutet, dass, wie auch von den Guidelines gefordert, in jedem Jahr entsprechende Qualitätsprüfungen erfolgen, die aber hinsichtlich der geforderten „Peer-Reviews“ einen periodischen Ansatz verfolgen (siehe auch weiter unten).

Der **QS-Plan** besteht somit aus den Checklisten zur QK/QS (siehe Kapitel 1.6.1.2) und dem Terminplan der Emissionsberichterstattung (siehe Kapitel 1.2.1.5) mit den damit verbundenen Aufgaben. Letztere und die vom QSE vorgegebenen Freigabeprozesse stellen sicher, dass die Inventare jährlich eine Vielzahl von internen, vor allem aber externen qualitätsichernden Prüfinstanzen durchlaufen. Dazu gehören auch jährlich von den beteiligten Ministerien durchzuführende „basic Expert Peer-Reviews“, deren Ergebnisse, inkl. möglicher Korrekturen, im Rahmen der etablierten Routinen, vor Fertigstellung der Berichterstattung in die Inventare einfließen. Abgerundet werden diese qualitätssichernden Aktivitäten durch periodisch durchgeführte Peer Reviews (siehe Kapitel 1.6.1.4).

Durch regelmäßige Anpassung und Überarbeitung der genannten Instrumente, auch unter Berücksichtigung landesspezifischer Bedürfnisse, ist sichergestellt, dass die Anforderungen der 2006 Guidelines auch hinsichtlich einer angemessenen Berücksichtigung nationaler Besonderheiten erfüllt werden.

Eine allgemeine Beschreibung der Aufbau- und Ablauforganisation, der Qualitätssicherung und -kontrolle findet sich in Kapitel 1.3.3.1. Dort sind auch die Prinzipien zur Steuerung und Dokumentation dieser Maßnahmen beschrieben.

Im „Handbuch zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Erstellung von Emissionsinventaren und der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen sowie der EU Entscheidung 525/2013/EG“ (UBA, 2016, unveröffentlicht) sind die Anforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung detailliert beschrieben. Qualitätsprüfungen, die überwiegend vor Abschluss der Inventarerstellung erfolgen, bilden das Herzstück der im Handbuch gemachten Vorgaben.

1.6.1.2 QK/QS-Checklisten

Die Qualitätsprüfungen werden mit Hilfe von Checklisten umgesetzt (zum Inhalt siehe Kapitel 1.3.3.1.5 und 22.1.2.1.11). Diese bestehen zurzeit aus ca. 85 rollenspezifischen Einzelzielen sowie rund 50 optionalen Zielen.

Aktuell sind etwa 50 UBA- und externe Mitarbeiter in unterschiedlichen funktionalen Rollen in vier aufeinander aufbauenden QK/QS-Prüfebenen in die Emissionsberichterstattung eingebunden. Die Prüfebenen werden repräsentiert durch den eigentlichen Experten (FV), seinen Fachvorgesetzten (QKV), einen fachlichen Ansprechpartner für die jeweilige Kategorie in der Nationalen Koordinierungsstelle (FAP) und schließlich durch die Koordinatoren, die gemeinsam für das konsistente Gesamtergebnis NIR, Inventar, QSE und Unsicherheitenschätzung zuständig sind.

Die rollenspezifischen QK/QS-Prüfungen werden generell den allgemeinen Qualitätszielen (siehe Kapitel 22.1.2.1.10.3) und den einzelnen Prozessschritten (siehe Kapitel 1.2.3) bei der Inventarerstellung zugeordnet, damit die anschließende Auswertung wann immer notwendig auch nach diesen Gesichtspunkten erfolgen kann. In der Summe decken die Prüfungen den gesamten Prozess der Inventarerstellung ab.

Die anschließende Auswertung der Checklisten zeigt bei einzelnen Kategorien bestimmte Aspekte auf, die hinsichtlich der Einhaltung spezifischer Inventaranforderungen zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten sind. Zu diesem Zweck werden sie um weiterführende Informationen ergänzt. Die überwiegende Mehrzahl aller identifizierten Prüfbedarfe wird in den verbindlichen Inventarplan überführt. Dieser wird haus- und ressortabgestimmt und anschließend in aggregierter Form veröffentlicht.

1.6.1.3 Inventarplan

Für die jährliche Erstellung des Inventarplans werden die Ergebnisse der QK/QS-Checklisten aller Kategorien ausgewertet und die nicht erreichten Ziele mit notwendigen Verbesserungsmaßnahmen, sowie Terminen zu ihrer Umsetzung hinterlegt (Follow-up-procedure). Diese werden ergänzt um die im NIR benannten Verbesserungsaktivitäten (s. Kapitel 10.4.1), die Ergebnisse der verschiedenen Reviewprozeduren der UNFCCC und der EU-Kommission, um Auditergebnisse (siehe 1.6.1.4) sowie sonstige Verbesserungsbedarfe. Der Inventarplan umfasst damit eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen, die von unterschiedlichen Rollen des QSE (siehe Rollenkonzept des QSE Kapitel 1.3.3.1.3) und den in die Emissionsberichterstattung eingebundenen Bundesministerien Deutschlands (siehe Kapitel 1.3.3.1.3) bzw. deren nachgeordneten Behörden umzusetzen sind. Die enthaltenen Maßnahmen sind innerhalb der im Inventarplan festgelegten Zeiträume umzusetzen, wobei die Bereitstellung der erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen den jeweils zuständigen Teilnehmern des NaSE obliegt.

Bei der Erstellung des jeweils aktuellen IP wird vom QSE-Koordinator auch die Abarbeitung der in den Vorjahren begebenen Handlungsbedarfe überprüft. Anhand der dadurch gewonnenen Informationen wird der IP zusätzlich aktualisiert. Handlungsbedarfe deren Termine nicht gehalten werden konnten, werden in ihrem Status auf „überfällig“ gesetzt und in ihrer Priorität heraufgesetzt (Follow-follow-up-procedure).

Da die einzelnen Maßnahmen des Inventarplans aufgrund ihrer großen Anzahl hier nicht darstellbar sind, wurden sie zu den in Tabelle 9 dargestellten übergeordneten Maßnahmen zusammengefasst. Der Inventarplan wird in einem fortlaufenden Prozess mindestens jährlich aktualisiert.

Im Zuge der Umsetzung der im Inventarplan enthaltenen Maßnahmen können regelmäßig große Teile der enthaltenen Einzelmaßnahmen bearbeitet und damit aufgelöst werden.

Tabelle 9: Inventarplan – offene Handlungsbedarfe

Hauptkategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung / Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug Berichtsjahr
Energy	1.A.3.d	Überprüfung, ob die Anforderungen der IPCC-Guidelines an die Auswahl der Berechnungsmethode und die Verfahren bei vorliegenden Methodenwechsel erfüllt sind oder ob bestehende Berechnungsmethoden/Modelle ggf. angepasst werden müssen.	NIR	2017
Industrial Processes	2.A.4.b.		Sonstige	2020
LULUCF	4, 4(V) , 4.B-E, KP		ARR, NIR	2020, 2022
Energy	1.A.4.	Überprüfung, ob Datenlücken in Zeitreihen vorliegen.	CHKL	2020
Energy	1. fossil fractions of biofuels	Überprüfung, ob die Quellgruppe vollständig durch die Datenquelle abgedeckt wird und die Datenzuschnitte der EF und AR übereinstimmen.	NIR	2020
Industrial Processes	2.C.2, 2.C.3.a		Audit	2016
LULUCF	4		ARR	2020
Energy	1.A.3.b+c, 1.A.4.c.ii+iii, 1.A.5.b.(iii)	Überprüfung, ob die Unsicherheiten ermittelt wurden und vollständig und aktuell sind.	Audit, CHKL	2012, 2015+16, 2020, 2022
Industrial Processes	2.B.7, 2.B.10.(i), 2.C.3.a., 2.D.3.(b)		Audit, CHKL	2012, 2016, 2018, 2021+22
Waste	5.A.1, 5.B, 5.D.1+2		Audit, CHKL,Sonstige	2016, 2019+20
General	0.	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	Audit, CHKL	2015+16, 2018
Energy	1.A, 1.A.2.e, 1.A.2.g.vii., 1.A.3.a-c+d.(a+b)+e., 1.A.4.a.ii+b.ii+c.ii+iii,, 1.A.5.b (i+ii+iii)		ARR, CHKL	2013, 2017-22
Industrial Processes	2.A.1+3+4a, 2.B.3+8, 2.C.3.a., 2.D.1.(b), 2.D.3.(a,d,e,f,g,h,i)+j		Audit, CHKL	2016, 2018-21
LULUCF	4.A, KP		ARR	2020
Waste	5.A.1, 5.B.1+2, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		Audit, CHKL	2016, 2019-22
General	0.	Überprüfung, ob Datenlieferanten bzw. Auftragnehmer geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchführen und ob die durch die Nationale Koordinierungsstelle festgelegten Anforderungen an die Emissonsberichterstattung an diese weitergegeben und umgesetzt werden.	Audit, Sonstige	2014, 2016
Energy	1.A.3.a-c+d (a+b), 1.A.4.c.iii, 1.A.5, 1.A.5.b		Audit, CHKL	2012, 2015+16, 2019, 2021+22
Industrial Processes	2.B.8.a., 2.C.2		Audit, CHKL	2012, 2016+17
Waste	5.B.1+2, 5.D.1		Audit, CHKL	2016, 2018
General	0.	Überprüfung, ob die Anforderungen zum Abgleich und zur Verifizierung von Daten bzw. zugrunde liegender Annahmen erfüllt werden.	ARR, CHKL, Sonstige	2015+16, 2018
Energy	1.A.1, 1.A.2f, 1.A.3.d.+(a), 1.A.4.c.iii., 1.A.5.b.(iii), 1.D.1.a.		ARR, Audit, CHKL, Sonstige	2015+16, 2022
Industrial Processes	2.B.7, 2.B.10.(i), 2.C.2+5+6		Audit, CHKL	2015+16, 2019-22
Waste	5.A.1, 5.B.1+2, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		CHKL, Sonstige	2018-20, 2022

General	-	Überprüfung, ob die Hinweise aus den Inventarüberprüfungen berücksichtigt werden konnten.	ARR	2010
Energy	1.A.3.d(b), 1.B.2.b.iv-vi		CHKL	2019, 2022
Industrial Processes	2.B.10.(i)		CHKL	2022
Energy	1.A.2.g.vii., 1.A.3.a-c+d(a+b)+e., 1.A.4.a.ii.+b.ii+c.ii+iii, 1.A.5.b, 1.AD, 1.B.2.c-Flaring	Überprüfung, ob die Anforderungen an die Datenkonsistenz erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar sind.	ARR, CHKL	2018-22
Industrial Processes	2.B.3+7, 2.D.1.(b), 2.D.3.(j)		Audit, CHKL	2016, 2019-22
Waste	5.A.1		NIR	2013
Energy	1.A.3.b., 1.A.3.d.(a), 1.A.4.c.iii., 1.B.2	Überprüfung, ob die EF vollständig und plausibel (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	ARR, CHKL, NIR	2020-22
Industrial Processes	2.C.3.a, 2.H.2.		ARR, NIR	2018, 2021
Waste	5.A.1		ARR, NIR	2018-20
Industrial Processes	2.A.3	Überprüfung, ob die AR vollständig (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	ARR, Audit	2016, 2018
Waste	5.A.1., 5.E.1.(a)	Überprüfung, ob Dateneingaben in das ZSE richtig im Sinne einer fehlerfreien Eingabe von Zahlen, Einheiten, Umrechnungsfaktoren und korrekter Einbindung sind.	CHKL	2021
Energy	1., 1.A.3.d.(a)	Überprüfung, ob die Quellgruppe für den NIR entsprechend der geforderten sechs Unterkapitel des NIR ("Beschreibung der Quellgruppe", "Methodische Aspekte" etc.) vollständig und nachvollziehbar beschrieben ist.	ARR, CHKL	2015+16, 2021
Industrial Processes	2.B.3+10.(i), 2.C.2+5+6.		CHKL	2019+20, 2022
Waste	5.A.1, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		ARR, CHKL	2018, 2022
Energy	1.A	Überprüfung, ob Rekalkulationen durchzuführen sind. Falls dies der Fall ist, sind sie nachvollziehbar zu dokumentieren.	ARR	2018
General	0.	Handlungsbedarfe unterschiedlichen Inhalts.	Sonstige	2014, 2016
Energy	1.A.2.g.vii, 1.A.3.b+c+d(a+b), 1.A.4.a.ii+b.ii+c.ii+iii, 1.A.5.b., 1.B.2.c. - Flaring		CHKL	2015, 2017-22
Industrial Processes	2.B.7+8+10.(i), 2.C.3.a.		Audit, CHKL, NIR	2015+16, 2021+22
Agriculture	3.D		CHKL	2022
LULUCF	KP		ARR	2020
Waste	5.A.1, 5.D.2		ARR, Sonstige	2015+16, 2018
Energy	1.A.3.a+b	Überprüfung ob Zuständigkeiten aktualisiert werden müssen.	Audit	2016
Industrial Processes	2.A.4.b+c+d, 2.D.3.(b)		CHKL, Sonstige, NIR	2012, 2019, 2022
Waste	5.A.1, 5.D.1	Initiierte Forschungsprojekte zur Inventarverbesserung.	ARR, NIR	2015+16, 2022

Seit erstmaliger Veröffentlichung eines Inventarplanes mit der Berichterstattung 2007 sind mehrere tausend Handlungs- bzw. Verbesserungsbedarfe im Qualitäts-System zur Verbesserung adressiert worden.

Zum Ende des aktuellen Berichterstattungsjahres besteht der Inventarplan aus rund 280 aktiven Handlungs- bzw. Verbesserungsbedarfen. Sie verteilen sich auf etwa 70 Kategorien.

Im Verlauf der aktuellen Berichtsrunde sind rund 30 Verbesserungsbedarfe neu erkannt worden, während rund 100 Handlungsbedarfe erledigt werden konnten. Zu diesen letzteren gehören 35 Handlungsempfehlung des UNFCCC-Review 2020. Aus dem ESD-Review 2020 ergaben sich keine Verbesserungsbedarfe.

Die Schwerpunkte der offenen bzw. in Bearbeitung befindlichen Verbesserungsbedarfe liegen in den Bereichen Dokumentation, Verifizierung und sonstige Verbesserungen.

In der Übersicht der Tabelle 10 werden detailliertere Informationen zu den erledigten Verbesserungsbedarfen gegeben. In beiden Tabellen (Tabelle 9 & Tabelle 10) sind die Reviewergebnisse ab 2006, die im NIR getroffenen Aussagen zu geplanten Verbesserungen ab 2011, die sonstigen Verbesserungsbedarfe ab 2008 sowie die CHKL-Ergebnisse der Jahre ab 2010 enthalten.

Detailinformationen zu einzelnen Verbesserungen hinsichtlich Kategorie, Priorität, Terminierung, Zuständigkeit, Gas, Brennstoff, Handlungsbedarf etc. können aufgrund des Umfangs der Informationen hier nicht dargestellt werden. Weiterführende Auszüge aus dem Inventarplan können für die erledigten Reviewergebnisse unter Tabelle 475 (Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen) und für die im NIR getroffenen Aussagen zu geplanten Verbesserungen unter Tabelle 476 (Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen) eingesehen werden.

Tabelle 10: Inventarplan - erledigte Handlungsbedarfe/Verbesserungen

Hauptkategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung / Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
General	0.	Überprüfung, ob die Anforderungen der IPCC-Guidelines an die Auswahl der Berechnungsmethode und die Verfahren bei vorliegenden Methodenwechsel erfüllt sind oder ob bestehende Berechnungsmethoden/Modelle ggf. angepasst werden müssen.	ARR	2020
Industrial Processes	2.A.1		ARR	2018
LULUCF	4, 4.B.1, 4.B.2.+4.C.2., KP		ARR	2015+16, 2020
General	0.	Überprüfung, ob die Unsicherheiten ermittelt wurden und vollständig und aktuell sind.	Audit	2016
Energy	1.A.2.g.vii., 1.A.3.b.+c, 1.A.4.a.ii.+b.ii.+c.ii.		CHKL	2014+15, 2021
Waste	5.D.1		CHKL	2021
General	0.	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	Audit	2016
Energy	1.A.2.g.vii., 1.A.3.c, 1.A.4.a.ii.+b.ii.+c.ii.		CHKL	2017, 2020+21
Agriculture	3., 3.B.3., 3.D.a.2.c + 3.D.b		ARR	2020
LULUCF	4., KP		ARR, Audit	2016, 2020
Waste	5.B.1.+2, 5.E.1.(a)		Audit, CHKL	2016, 2021
General	0.	Überprüfung, ob Datenlieferanten bzw. Auftragnehmer geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchführen und ob die durch die Nationale Koordinierungsstelle festgelegten Anforderungen an die Emissonsberichterstattung an diese weitergegeben und umgesetzt werden.	Audit	2016
Energy	1.A.4.c.iii., 1.A.5.b.(iii),		CHKL	2016, 2020
Industrial Processes	2.B.9.		Audit	2016
General	0.	Überprüfung, ob die Anforderungen zum Abgleich und zur Verifizierung von Daten bzw. zugrunde liegender Annahmen erfüllt werden.	ARR, CHKL	2018, 2020
Energy	1.A.1		CHKL	2021
Industrial Processes	2.C.6		CHKL	2019
LULUCF	4.B, 4.B.1.+4.C.1., KP		ARR	2020
Waste	5.D.1		Sonstige	2020

General	0.	Überprüfung, ob die Hinweise aus den Inventarüberprüfungen berücksichtigt werden konnten.	ARR	2018
Energy	1.A.5.b.(iii), 1.B.2.c. - Flaring	Überprüfung, ob die Anforderungen an die Datenkonsistenz erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar sind.	CHKL	2018, 2021
Industrial Processes	2.E.3, 2.G.3, 2.G.4.(c)		ARR, CHKL	2020+21
LULUCF	4., 4.A, KP		ARR, Sonstige	2020, 2021
Waste	5.B.2, 5.D., 5.D.2.		ARR, CHKL, Sonstige	2016, 2020
Industrial Processes	2.A.3.	Überprüfung, ob die EF vollständig und plausibel (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	Audit	2016
Industrial Processes	2.A.4.b, 2.C.2, 2.D.2	Überprüfung, ob die AR vollständig (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	ARR, Sonstige	2020+21
Waste	5.D.1		Sonstige	2021
Industrial Processes	2.B.2.+3	Überprüfung, ob die Quellgruppe für den NIR entsprechend der geforderten sechs Unterkapitel des NIR ("Beschreibung der Quellgruppe", "Methodische Aspekte" etc.) vollständig und nachvollziehbar beschrieben ist.	ARR	2015+16, 2018
Agriculture	3.A.1.		ARR	2018
Waste	5.D.2, 5.E.1.(a)		CHKL	2020+21
Industrial Processes	2.A.4.b., 2.D.1.(a)	Überprüfung, ob Rekalkulationen durchzuführen sind. Falls dies der Fall ist, sind sie nachvollziehbar zu dokumentieren.	ARR	2020
Energy	1.A.3.a.+c+d.(a), 1.A.4.c.iii., 1.D.1.a.	Handlungsbedarfe unterschiedlichen Inhalts.	ARR, Audit, CHKL	2015+16, 2019, 2021
Industrial Processes	2.B.3.; 2.B.4; 2.B.8.a-e; 2.B.10.(i)		CHKL	2019
Waste	5.B.		Sonstige	2021
Industrial Processes	2.B.3.; 2.B.4.a.; 2.B.8.a-e	Überprüfung ob Zuständigkeiten aktualisiert werden müssen.	CHKL	2016, 2019

1.6.1.4 Audit

Im April 2016 wurde das Qualitätssystem (QSE) des Umweltbundesamtes von externer Stelle auditiert. Ziele waren:

- Prüfung ob das QSE mit den Qualitätsvorgaben der 2006 IPCC Guidelines übereinstimmt
- Identifizierung von Verbesserungspotentialen
- Identifizierung von möglichen Risiken für die Aufrechterhaltung der Datenqualität.

Es wurde ein Auditprogramm erarbeitet, welches deutlich mehr als nur einen repräsentativen Querschnitt über alle Emissionskategorien bietet, da die auditierten Mitarbeiter in den meisten Fällen weitere Kategorien betreuen und deren Vorgehen dort sich wenig von den herangezogenen Fällen unterscheidet.

Mit dem erarbeiteten Auditplan wurde im Februar 2016 ein Voraudit für zwei Kategorien sowie den Koordinatoren für das Qualitätssystem (QSE), das Zentrale System Emissionen (ZSE; Datenbank) und das Nationale System (NaSE) durchgeführt, um die Anwendbarkeit und den Zeitbedarf zu testen und um die Notwendigkeit von Anpassungen des Auditplanes zu ermitteln. Parallel zur Überarbeitung des Auditplans wurde ein Zeitplan für die Durchführung der Audits bei Einsatz von insgesamt 5 Auditoren erstellt. Beim Audit wurden an drei Tagen im Regelfall paarweise die Fachverantwortlichen (FV) und deren fachliche Ansprechpartner (FAP) für 44 von 148 Kategorien auditiert. Die überprüften Vorgehensweisen und Abläufe in den auditierten Kategorien repräsentieren mehr als 80 % der Gesamtemissionen des deutschen

Treibhausgasinventars. Darüber hinaus wurden, soweit diese noch nicht im Voraudit erfasst waren, alle Koordinatoren in Einzelaudits in das Auditprogramm aufgenommen.

Der Auditplan umfasste folgende Themenfelder:

- Rollen und Zuständigkeiten
- Anwendung allgemeiner Verfahren der Qualitätskontrolle
- Umsetzung der Vorgaben des QSE-Handbuches (Inventarbeschreibung, Inventraplan, NIR)
- Kategorie-spezifische Qualitätskontrolle für
    - Emissionsfaktoren
    - Messungen
    - Aktivitätsraten
    - Berechnungsverfahren und Bestimmung der Unsicherheiten

Die wesentlichen Ergebnisse des Audits sind:

1. Die Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung (QK/QS), die durch die IPCC 2006 Guidelines vorgegeben werden, werden vorbehaltlos eingehalten. Alle Soll-Anforderungen werden mit der Ausgestaltung und Umsetzung des QSE erfüllt.
2. Die vorgegebenen QK/QS-Verfahren des QSE sind wirksam, um die Datenqualität entsprechend den Anforderungen der IPCC Guidelines zu gewährleisten, und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess voranzutreiben. Voraussetzung hierfür ist die konsistente Umsetzung der Vorgaben des QSE durch die eingebundenen Mitarbeiter und Fachbereiche.
3. Das QSE geht über den eigenen Anspruch der Erfüllung der Mindestanforderungen weit hinaus und kann für viele Aspekte selbst Best-Practice-Beispiele in Anlehnung an die IPCC 2006 Guidelines bieten. Besonders hervorzuheben sind dabei die Ausgestaltung und der Umfang der Inventarbeschreibung, welche in fast allen untersuchten Kategorien ein umfassendes und transparentes Instrument für die Dokumentation von Daten, dem Bearbeitungsstand und den angewandten Verfahren darstellt. Lediglich im Bereich der Kategorie-spezifischen Qualitätskontrolle gibt es an einigen Stellen Verbesserungspotential, welches langfristig umgesetzt werden könnte (z.B. die Erstellung von einheitlichen Vorlagen für Tabellenkalkulationsblätter)
4. Das Risiko hinsichtlich einer Verringerung der Datenqualität ist aufgrund der Ausgestaltung des QSE und insbesondere des hohen Informationsgehalts der in den Inventarbeschreibungen abgelegt ist, als sehr gering einzustufen. Risiken bestehen eher im Hinblick auf temporäre Lücken in der kontinuierlichen Anwendung von Erhebungs- und Berechnungsverfahren, da im Falle des Ausfalles von Erfahrungsträgern teilweise als Ersatz Extrapolationsrechnungen in der Berichterstattung herangezogen werden müssten. Ein solcher Ausfall bedeutet aber keinesfalls einen Informationsverlust, so dass der Datenbestand mit der üblichen Datenqualität nachträglich wiederhergestellt werden könnte.
5. In einzelnen Kategorien lässt sich noch eine Verbesserung der Datenqualität durch eine häufigere Prüfung der Aktualität der genutzten Daten erreichen. So könnte es sinnvoll sein, dass in einem verpflichtenden Mindestzeitraum zu prüfen ist, ob Faktoren noch aktuell sind, oder ob inzwischen Daten zur Nutzung eines höherwertigen Ansatzes (z.B. national statt IPCC-Default) zur Verfügung stehen, bzw. beschafft werden können. Bei vorhandenem Aktualisierungsbedarf wären die notwendigen Studien in das Forschungsbudget einzuplanen.
6. Individuelle Verbesserungspotentiale für die untersuchten Kategorien und für allgemeine Belange konnten ebenfalls ermittelt werden. Sie wurden in die bestehenden Verbesserungsinstrumente (Inventarplan) übernommen.

1.6.1.5 Workshops zum Nationalen System (Peer Review)

Das Umweltbundesamt hat im November 2004 erstmals einen Workshop zum Nationalen System Emissionsinventare durchgeführt. Damit wurde ein Forum geschaffen, das die Einbindung von Verbänden und anderen unabhängigen Organisationen wesentlich förderte und der Umsetzung des Paragraphen 15 (b) der *Guidelines for National Systems* diente, die Inventare durch Dritte (Peer Review) prüfen zu lassen.

In der Folge wurden in mehrere Workshops durchgeführt, die jeweils der Überprüfung der Inventare durch unabhängige Dritte entsprechend des Paragraphen 15 (b) der *Guidelines for National Systems* dienten. 2009 fokussierte sich ein zweiter Workshop auf spezifische Kategorien des Inventars, wie N_2O aus der Produktverwendung, Emissionen aus der nicht-energetischen Verwendung fossiler Brennstoffe und SF_6-Emissionen aus der Photovoltaik-Industrie. Die umfangreichen und intensiven Diskussionen während des Workshops haben wesentlich zur Verbesserung der Datenlage und damit zur Verbesserung der Qualität der Berichterstattung beigetragen.

2011 wurde ein internationaler Experten-Workshop zum deutschen LULUCF-Berichtssystem durchgeführt, der die methodischen Änderungen in Folge des In-Country-Reviews vom September 2010 begutachtete. Die Expertenempfehlungen wurden in der weiteren Umsetzung vollständig berücksichtigt.

Jeweils ein Fachgespräch mit dem Statistischen Bundesamt Thema Erdgasstatistik wurde in 2012 und im Sommer 2015 durchgeführt. An dem Fachgespräch 2012 nahmen neben dem Statistischen Bundesamt und dem Umweltbundesamt auch der BDEW, Vertreter einzelner Gasunternehmen und das DIW (AGEB) teil. In Vorbereitung der Überarbeitung der nationalen Energiebilanz wurden die verfügbaren Erdgasstatistiken diskutiert. Dabei wurden zum einen Maßnahmen beschlossen, die zu einer direkten Verbesserung der Energiebilanz und damit auch zur Verbesserung des Emissionsinventars führen. Zum anderen wurden weitere Recherchen vereinbart, die der Verifikation der statistischen Daten dienen sollen. Das Fachgespräch in 2015 diente der Abstimmung des Datenaustauschs zwischen dem Statistischen Bundesamt und dem Umweltbundesamt auch im Hinblick auf die neuen Berichtsanforderungen aus den 2006 IPCC Guidelines und der europäischen Monitoring Verordnung (MMR).

Bereits im März 2014 wurde ein Workshop mit europäischen Inventarexperten zur Umsetzung der 2006 IPCC Guidelines in der deutschen Treibhausgasemissionsberichterstattung durchgeführt. Der Workshop mit ca. 60 Teilnehmern fokussierte sich insbesondere auf die Sektoren Energie (CRF 1) und Industrieprozesse und Produktverwendungen (CRF 2). Durch den Erfahrungsaustausch konnte die Umsetzung der neuen Methoden in den deutschen Treibhausgasinventaren erheblich verbessert werden.

1.6.1.6 Ländervergleich zu fluorierten Gasen (Cross-Country-Review)

Im Februar 2011 fand in Wien ein Expertentreffen zu einer gegenseitigen länderübergreifenden Überprüfung speziell zur Berichterstattung der F-Gase statt. Teilnehmer waren Großbritannien, Österreich und Deutschland. Nach einer grundsätzlichen Vorstellung der Datenerhebung in den drei Ländern wurden die einzelnen Anwendungsbereiche detailliert betrachtet und hinsichtlich Datenquellen, Genauigkeit, Emissionsfaktoren und anderer Kriterien verglichen. Dabei wurde deutlich, dass Deutschland über das meiste fachliche Hintergrundwissen verfügt und damit die Vollständigkeit und Plausibilität der vorhandenen Daten vermutlich am besten einschätzen kann.

Wesentliches Ergebnis der länderübergreifenden Überprüfung ist, dass alle drei Länder einen hohen Aufwand der Berichterstattung für die F-Gase betreiben müssen. Eine Verringerung des Aufwandes führt zu einer nicht mehr IPCC-konformen Berichterstattung.

Als Ergebnis des Treffens wurde ein Bericht erarbeitet, der in die deutsche Berichterstattung der F-Gase eingeflossen ist.

1.6.2 Aktivitäten zur Verifizierung

1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien

Im Berichterstattungsjahr 2015/2016 wurde in Umsetzung der *2006 IPCC Guidelines (Vol.1, Chapter 6)* ein Verifizierungsprojekt durchgeführt. Hierfür wurden alle Kategorien des Inventars auf ihren Bedarf für eine Verifizierung untersucht. Folgende Kategorien wurden ermittelt:

- 1.A.2.a Iron & Steel
- 1.A.3.e Other Transportation
- 1.B.1.a.ii Surface Mining
- 1.B.2.b.v.i Natural Gas: Other
- 2.A Mineral Industry
- 2.B.1 Ammonia Production
- 2.B.2 Nitric Acid Production
- 2.B.3 Adipic Acid Production
- 3 Agriculture
- 4 Land Use Matrix
- 4 Konsistenz der Beschreibungen im NIR zu den CRF-Tabellen
- 4.A Forest Land
- 5.A.1 Managed Waste Disposal

Für die genannten Kategorien wurde vom Projektnehmer eine Verifizierung durchgeführt. Die Ergebnisse sind nach Fertigstellung dem Verifizierungskapitel der jeweiligen Kategorie zu entnehmen.

1.6.2.2 Verifikation des nationalen Inventars mit Hilfe unabhängiger Daten

Die Verifikation des zeitlichen Verlaufs der drei wichtigsten Treibhausgase (CO_2, N_2O and CH_4) für das deutsche Emissionsinventar wurde mit Hilfe jener Datensätze durchgeführt, die auch in den 2019 IPCC Refinements empfohlen wurden (Romano et al., 2019). Dies sind besonders die Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) (Crippa et al., 2021) des JRC und Daten des Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS) des ECMWF (ECMWF, 2022). Zusätzlich wurden Daten des Pollution Release and Transfer Register (PRTR) (Umweltbundesamt, 2022), sowie Daten des European Emission Trade System (ETS) der European Environment Agency (EEA, 2022) herangezogen. Diese vier Datensätze sind unabhängig von den „national totals“ des deutschen Inventars und können daher als unabhängige Verifikationsdatenbasis dienen, wie in den IPCC Richtlinien unter 6.10.1-6.10.2 beschrieben (Romano et al., 2019). Die EDGAR Datenbank dient hierbei zum Vergleich der Trends in den drei obig benannten Treibhausgasen im Zeitraum von 1990-2018, welcher direkt erfolgen kann da EDGAR sowohl räumlich verteilte als auch aggregierte Daten für einen Vergleich mit der nationalen Gesamtemissionsmenge anbietet (Crippa et al., 2021). Die CAMS Daten müssen hierfür sowohl räumlich als auch zeitlich aggregiert werden, um einen Vergleich mit der nationalen Gesamtemissionsmenge durchzuführen. Im bereits erwähnten Zeitraum kann jedoch nur ein Vergleich mit den CAMS CO_2 Daten (Chevallier, 2020), sowie den Methandaten (Seegers, Houweling and Tokaya, 2020) erfolgen, während der Lachgasdatensatz erst ab 1996 verfügbar ist (Thompson, 2021). Die PRTR Daten und die Daten des ETS sind für eine Verifikation nur ab 2007 (Umweltbundesamt, 2022) bzw. 2005 (EEA, 2022) verfügbar. Weitere Informationen zu den Datensätzen, mitsamt der vertiefenden Verifikationsanalyse des temporalen Trends des deutschen Inventars (inklusive LULUCF und AFOLU), können dem

Anhangkapitel 22.1.4. entnommen werden. Die Zeitspanne für den Vergleich wurde durch die größte überlappende Zeitspanne zwischen den analysierten Datensätzen festgelegt und umfasst den Zeitraum 1990-2018 (je nach zeitlichem Umfang des Vergleichsdatensatzes). Der EDGAR Datensatz bildet in diesem Falle die Daten des deutschen nationalen Inventars sehr gut nach, wie im Anhangkapitel 22.1.4 zu sehen. Die Daten des CAMS Dienstes bilden auch den zeitlichen Trend der deutschen Inventardaten nach, mit Ausnahme der Lachgasdaten (Thompson, 2021). Dies zeigt deutlich wie wertvoll Daten inverser Modellierungen für die Verifikationsarbeit am nationalen Emissionsinventar sein können, wie in den IPCC 2019 Refinements erwähnt (Romano et al., 2019). Jedoch ist noch weitere wissenschaftliche Entwicklungsarbeit von Nöten, um diese Resultate noch weiter zu verbessern. Auf der europäischen Ebene greifen Initiativen wie Verify und COCO2, sowie viele zukünftige Projekte diese Arbeit auf, um in Zukunft noch bessere Resultate und Datenprodukte zu liefern. Sobald diese Datensätze der Inventarcommunity zur Verfügung gestellt werden, werden diese in zukünftige Verifikationsaktivitäten einfließen. Die PRTR und die ETS Daten zeigen einen ähnlichen zeitlichen Verlauf, wenn sie mit den nationalen Inventardaten verglichen werden, mit Korrelationswerten um 0.8 für beide Datensätze. Weitere Analysen finden sich im Anhangkapitel 22.1.4.

1.6.2.3 Verfahren zur Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels

Zur Erfüllung von obligatorischen Qualitätskriterien wird besonders innerhalb der EU eine Verbesserung der THG-Emissionsinventare durch Erkenntnisse aus dem Europäischen Emissionshandel (ETS genannt) gefordert.

Seit dem Beginn des ETS-Monitorings liegt für die jährlich verursachten Emissionen eine gesicherte Datenbasis des Emissionshandels vor. Diese Daten gestatten in aggregierter Form kategorienspezifische Aussagen über Vollständigkeit und Konsistenz für Teile des Emissionsinventares. Darüber hinaus bilden sie eine Grundlage für die Überprüfung der verwendeten Emissionsfaktoren und für die Verifikation der Aktivitätsdaten. Da die Emissionsberechnung im Emissionsinventar für alle Komponenten auf den gleichen Aktivitätsdaten aufbaut, hat diese Verifikation für alle zu berichtenden Schadstoffe Bedeutung.

Die für die Verbesserung berichtspflichtiger Inventardaten benötigten Daten aus dem Emissionshandel liegen elektronisch in der Anlagendatenbank der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) vor. 2005 wurde ein genereller Verfahrensablauf für einzelne gezielte Datenanfragen für die Inventarerstellung vereinbart. Dieser läuft im Wesentlichen durch direkte Kommunikation zwischen der Nationalen Koordinierungsstelle und der für die Berichte zuständigen Facheinheit V 3.3 der Emissionshandelsstelle (siehe Kapitel 1.3.3.1.8). Um die Potentiale regelmäßig nutzen zu können, ist für den jährlich erforderlichen Datenaustausch dieses formalisierte Verfahren mit terminlichen Festlegungen vereinbart worden.

Für Kategorien, die berichtspflichtige Anlagen unter dem CO_2-Emissionshandelsregime (ETS) beinhalten, werden die Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Qualitätsverbesserung der jährlichen nationalen Emissionsinventare genutzt. Informationen finden sich in den Kategoriekapiteln zur Verifikation, wobei nur in Einzelfällen die detaillierten Vergleiche aufgeführt sind. Aus Geheimhaltungsgründen, hier insbesondere für einige Inventardetails, sind die Ergebnisse der Vergleiche meist textlich beschrieben. Tabellen mit den verwendeten Daten können nur im Zuge von Inventarüberprüfungen zur Kenntnis gegeben werden. Einen exemplarischen Überblick über eine erfolgreiche Verifikation bietet der Vergleich der brennstoffbezogenen CO_2-Emissionsfaktoren im Anhang-Kapitel 18.8.

Die Bereitstellung der Datenbasis von der DEHSt an die Fachverantwortlichen der Inventare erforderte bereits mehrmals projektbasierte Unterstützung. Es wurden Zuordnungsregeln erarbeitet, die die Vergleichbarkeit der Daten der verifizierten Emissionsberichte mit der

Struktur der Inventardatenbank jahresweise ermöglichen {ÖKO-INSTITUT, 2006}. Dabei wurde deutlich, dass die Menge an Daten aus dem ETS für die Inventarberechnungen ressourcen- und zeitkritisch ist. Bei Abweichungen in den gebildeten Aggregaten, die den Anforderungen an die Vertraulichkeit von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen genügen, ist eine Prüfung der einzelbetrieblichen Datensätze notwendig. Diese Hürde wurde auch bei einem internationalen Workshop innerhalb des Projektes von den Experten anderer Länder für die deutsche Situation bestätigt (Handke et al., 2013). In einem weiteren Projekt wurde die Situation hinsichtlich der Anpassung der Anforderungen im ETS für die dritte Handelsperiode untersucht (Herold et al., 2016).

Aktuell liegen regelmäßig standardisierte Vergleichdaten vor, deren Erstellung vor allem auf Berichtspflichten innerhalb der EU-Regularien zu Treibhausgasen basiert. Folgende Datensätze werden in der Inventardatenbank ZSE bereit gestellt:

- Daten in der Aufteilung des deutschen Treibhausgasemissionshandelsgesetzes (TEHG): Es handelt sich Emissionsaggregate aus Betreibermeldungen an das Unionsregister, die über die DEHSt zur Verfügung gestellt werden. Wegen der Summenausweisung brennstoffbezogener und Prozessemissionen nicht direkt für CRF-Vergleiche geeignet.
- Daten gegliedert nach CRF: Daten aus geprüften Emissionsberichten der Betreiber werden von der DEHSt in Absprache mit der Nationalen Koordinierungsstelle zur Verfügung gestellt, um EU-Berichtspflichten zu erfüllen. Gemäß einer Konkretisierung der Durchführungsverordnung zur europäischen Monitoring Verordnung (MMR) ermöglichen diese Daten den quantitativen Vergleich von EU-ETS-Emissionen mit dem THG-Inventar.

Die Methodiken zur Erstellung der oben genannten Aggregate werden kontinuierlich verbessert und in fachlichen Rücksprachen diskutiert.

1.6.2.4 Verifikation des nationalen Inventars mit Hilfe unabhängiger Daten

Die Verifikation des zeitlichen Verlaufs der drei wichtigsten Treibhausgase (CO_2, N_2O and CH_4) für das deutsche Emissionsinventar wurde mit Hilfe jener Datensätze durchgeführt, die auch in den 2019 IPCC Refinements empfohlen wurden (Romano *et al.*, 2019). Dies sind besonders die Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) (Crippa *et al.*, 2021) des JRC und Daten des Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS) des ECMWF (ECMWF, 2022). Zusätzlich wurden Daten des Pollution Release and Transfer Register (PRTR) (Umweltbundesamt, 2022), sowie Daten des European Emission Trade System (ETS) der European Environment Agency (EEA, 2022) herangezogen. Diese vier Datensätze sind unabhängig von den „national totals" des deutschen Inventars und können daher als unabhängige Verifikationsdatenbasis dienen, wie in den IPCC Richtlinien unter 6.10.1-6.10.2 beschrieben (Romano *et al.*, 2019). Die EDGAR Datenbank dient hierbei zum Vergleich der Trends in den drei obig benannten Treibhausgasen im Zeitraum von 1990-2018, welcher direkt erfolgen kann da EDGAR sowohl räumlich verteilte als auch aggregierte Daten für einen Vergleich mit der nationalen Gesamtemissionsmenge anbietet (Crippa *et al.*, 2021). Die CAMS Daten müssen hierfür sowohl räumlich als auch zeitlich aggregiert werden, um einen Vergleich mit der nationalen Gesamtemissionsmenge durchzuführen. Im bereits erwähnten Zeitraum kann jedoch nur ein Vergleich mit den CAMS CO_2 Daten (Chevallier, 2020), sowie den Methandaten (Seegers, Houweling and Tokaya, 2020) erfolgen, während der Lachgasdatensatz erst ab 1996 verfügbar ist (Thompson, 2021). Die PRTR Daten und die Daten des ETS sind für eine Verifikation nur ab 2007 (Umweltbundesamt, 2022) bzw. 2005 (EEA, 2022) verfügbar. Weitere Informationen zu den Datensätzen, mitsamt der vertiefenden Verifikationsanalyse des temporalen Trends des deutschen Inventars (inklusive LULUCF und AFOLU), können dem

Anhangkapitel 22.1.4. entnommen werden. Die Zeitspanne für den Vergleich wurde durch die größte überlappende Zeitspanne zwischen den analysierten Datensätzen festgelegt und umfasst den Zeitraum 1990-2018 (je nach zeitlichem Umfang des Vergleichsdatensatzes). Der EDGAR Datensatz bildet in diesem Falle die Daten des deutschen nationalen Inventars sehr gut nach, wie im Anhangkapitel 22.1.4 zu sehen. Die Daten des CAMS Dienstes bilden auch den zeitlichen Trend der deutschen Inventardaten nach, mit Ausnahme der Lachgasdaten (Thompson, 2021). Dies zeigt deutlich wie wertvoll Daten inverser Modellierungen für die Verifikationsarbeit am nationalen Emissionsinventar sein können, wie in den IPCC 2019 Refinements erwähnt (Romano *et al.*, 2019). Jedoch ist noch weitere wissenschaftliche Entwicklungsarbeit von Nöten, um diese Resultate noch weiter zu verbessern. Auf der europäischen Ebene greifen Initiativen wie Verify und COCO2, sowie viele zukünftige Projekte diese Arbeit auf, um in Zukunft noch bessere Resultate und Datenprodukte zu liefern. Sobald diese Datensätze der Inventarcommunity zur Verfügung gestellt werden, werden diese in zukünftige Verifikationsaktivitäten einfließen. Die PRTR und die ETS Daten zeigen einen ähnlichen zeitlichen Verlauf, wenn sie mit den nationalen Inventardaten verglichen werden, mit Korrelationswerten um 0.8 für beide Datensätze. Weitere Analysen finden sich im Anhangkapitel 22.1.4.

1.6.3 Umgang mit vertraulichen Informationen

Nach Inkrafttreten der Novellierung des Energiestatistikgesetzes vom 26. Juli 2002 über das 3. Mittelstandsentlastungsgesetzes erhielt das Umweltbundesamt für Zwecke der Inventarerstellung Zugriff auf Daten des Statistischen Bundesamtes, die der statistischen Geheimhaltung unterliegen. Dieser Zugriff wurde auch in der Novelle des Energiestatistikgesetz vom 6. März 2017 (BGBl. I S. 392) in § 13 sichergestellt.

Ebenso erhält die Nationale Koordinierungsstelle von Verbänden und Unternehmen Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und Emissionsdaten, die Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse enthalten und anderweitig vertraulich sind.

Hierzu sind in der Nationalen Koordinierungsstelle bei der Datenhaltung und beim Umgang mit den Daten besondere Vorkehrungen zu treffen und Prozeduren einzuhalten, die eine Wahrung der Vertraulichkeit sicherstellen.

Insbesondere muss eine strikte Trennung (räumlich und personell) von Statistik / Analyse und dem Vollzug gewährleistet sein.

Die Nationale Koordinierungsstelle und die betroffenen Facheinheiten des Umweltbundesamtes haben verschiedene Vorkehrungen zur Umsetzung dieser Erfordernisse getroffen. Dabei gilt immer der Grundsatz, dass Personen mit Vollzugsaufgaben keine fachverantwortlichen Aufgaben für die Emissionsberichterstattung in diesem Bereich übernehmen können.

Um eine genaue Einschätzung der Erfordernisse und der Möglichkeiten beim Umgang und der Nutzung der Datenbestände der Emissionsberichterstattung vornehmen zu können, hat die Nationalen Koordinierungsstelle 2008 einen Auftrag zur Erstellung eines juristischen Gutachtens erteilt. Die Ergebnisse flossen in die Überarbeitung und Weiterentwicklung eines Konzepts der Nationalen Koordinierungsstelle zum Umgang mit vertraulichen Daten ein und wurden über die Hausanordnung Nr. 04/2019 - Sicherstellung der Geheimhaltungsanforderungen nach BStatG, EnStatG, UStatG, ProdGewStatG sowie vertraglichen Reglungen im Fachbereich V auch formal umgesetzt.

Schon vorher implementiert wurde eine personenscharfe Zugangsregelung zur Datenbank Zentrales System Emissionen (ZSE), die einen Datenzugriff nur dem dafür berechtigten Personenkreis erlaubt. Diese Maßnahme stellt den Kern der bestehenden Vorkehrungen zum Umgang mit vertraulichen Daten dar. Damit kann insbesondere die erforderliche personelle

Trennung von Statistik und Vollzug praktisch umgesetzt werden. Darüber hinaus wurde 2009 für vertrauliche elektronische Daten, die nicht zentral im ZSE gehalten werden (z.B. Energiedaten, die der statistischen Geheimhaltung unterliegen, Emissionsschutzerklärungen, Daten zu Großfeuerungsanlagen, Informationen zu Produktionsverfahren, etc.) ein speziell zugangsbeschränkter Bereich auf einem zentralen Server des Umweltbundesamtes eingerichtet.

Weiterhin werden Daten des *Statistischen Bundesamtes* auf einem personenbezogen passwortgeschützten Server beim *Statistischen Bundesamt* bereitgestellt und im Umweltbundesamt in einer Datenbank mit personenscharfe Zugangsregelung weiter verarbeitet.

1.7 Generelle Unsicherheitenschätzung

1.7.1 Treibhausgas-Inventar

Die IPCC Guidelines 2006 (IPCC (2006b): Vol. 1, Kap. 3) charakterisieren die Bestimmung von Unsicherheiten als ein wesentliches Element eines vollständigen Inventars. Durch den Anspruch zur kontinuierlichen Inventarverbesserung kommt dem Aspekt der Unsicherheiten in den Inventaren eine hohe Priorität zu. Die Information über die Unsicherheit wird dabei vorrangig als Hilfe zur zukünftigen Verbesserung der Genauigkeit des Inventars sowie der Methodenwahl und der Rekalkulation betrachtet. Dabei ist es erklärtes Ziel, die Unsicherheiten so weit wie praktikabel zu reduzieren um möglichst genaue Inventare zu erhalten. Dazu werden die Unsicherheiten aller Kategorien und Senken zunächst quantifiziert, um eine bessere Übersicht über die Inventarqualität zu schaffen, die wiederum Voraussetzung für eine effektive Inventarplanung ist.

Es werden grundsätzlich zwei Methoden zur Ermittlung von Unsicherheiten unterschieden. Die Approach-1-Methode kombiniert auf einfache Weise die Unsicherheit von Aktivitätsrate und Emissionsfaktor je Kategorie und Treibhausgas und aggregiert diese über alle Kategorien und Treibhausgaskomponenten zur Gesamt-Unsicherheit des Inventars. Die Approach-2-Methode zur Ermittlung von Unsicherheiten geht prinzipiell ebenso vor, berücksichtigt jedoch die Verteilungsfunktion der Unsicherheit und aggregiert mittels einer Monte Carlo Simulation. Dies erfordert für die Approach-2-Methode zusätzlich die Ermittlung einer Wahrscheinlichkeits-dichtefunktion für alle Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren. Im Idealfall können diese Funktionen über die statistische Auswertung von Einzeldaten bestimmt werden (z.B. Messergebnisse einer größeren Zahl von Anlagen). Oft stehen jedoch nur wenige Werte zur Verfügung, so dass die Unsicherheit auf der Grundlage von Expertenschätzungen ermittelt wird.

Im Forschungsvorhaben 202 42 266 (Handke et al., 2004) ist erstmals eine Ermittlung der Unsicherheiten nach Approach 1 und nach Approach 2 gemäß Kap. 6 der Good Practice Guidance 2000 (IPCC, 2000) vorgenommen worden. Für die aktuelle Berichterstattung ist diese Datengrundlage kontinuierlich verbessert und die Unsicherheitsangaben für das Treibhausgasinventar weiter vervollständigt worden. Darüber hinaus wurden die Vorgaben der 2006 Guidelines (IPCC, 2006b) übernommen. In Deutschland werden die Unsicherheiten jährlich sowohl nach Approach 1 als auch nach der Approach 2 Methode ermittelt. Die Angaben zur Unsicherheit der verwendeten Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und Emissionen stammen dabei aus der Datenbank ZSE. Diese basieren auf Literaturangaben und Expertenschätzungen der UBA-Facheinheiten sowie externer Einrichtungen.

1.7.1.1 Vorgehen zur Unsicherheitsbestimmung

Die Ermittlung der Unsicherheiten gemäß Kapitel 3 der 2006er Guidelines (IPCC, 2006b) erfolgt auf Grundlage der auf unterster Subkategorienebene ermittelten Unsicherheiten von AR, EF und EM, wie sie im ZSE hinterlegt sind. Bei vorliegenden asymmetrischen Unsicherheitenangaben

wird für die Approach-1-Methode der größere der beiden Schrankenwerte, bei Annahme einer Normalverteilung, sowohl als obere als auch als untere Schranke verwendet. Die Approach-2-Methode verwendet dagegen den vollen Datensatz. In jedem Sektor werden die Unsicherheiten der einzelnen Zeitreihen zu einer Gesamtunsicherheit des Sektors aggregiert. Aus der Aggregation der Sektoren ergibt sich dann schließlich die Unsicherheit des Gesamtinventars.

Aufgrund fehlender Daten aus dem Jahr der deutschen Wiedervereinigung (1990) und daraus resultierender technischer Beschränkungen wird generell, abweichend von den Guidelines, das Jahr 1995 als Basisjahr für die Berechnung der Basisjahr- und Trendunsicherheiten verwendet.

Bei der Berechnung von Unsicherheiten ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Aktivitätsraten geringere Unsicherheiten besitzen als die Emissionsfaktoren. Insbesondere die Aktivitätsraten, die sich aus dem Einsatz von Brennstoffen ableiten und die sich auf die bundesdeutsche Energiebilanz stützen, weisen geringe Unsicherheiten auf. Mit der zunehmenden Disaggregation der Brennstoffeinsätze nehmen die Unsicherheiten der daraus abgeleiteten Aktivitätsraten jedoch in der Regel wieder zu.

Die folgende Aufzählung listet einge sektor-spezifische Details, die bei der Berechnung der jeweiligen Unsicherheiten zu Grunde liegen:

- Gemäß der Ergebnisse aus einem FuE-Vorhaben (Rentz et al., 2002) sind die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für indirekte Treibhausgase in stationären Feuerungsanlagen (CRF 1.A.1) als Folge ihrer regelmäßigen Überwachung vergleichsweise gering. Für die N_2O-Emissionsfaktoren werden höhere Unsicherheiten ausgewiesen, da die Emissionen von N_2O im Normalfall nicht überwacht werden. Gleiches gilt auch für die Emissionsfaktoren von CH_4.
- In der Kategorie der der eisenschaffenden Industrie (CRF 1.A.2.a) haben die Unsicherheiten für das Jahr 2017 zugenommen, da aufgrund fehlender Zulieferung von Brennstoffeinsätzen (BGS-Bogen) des Verbandes eine Berechnung der Entwicklung auf der Grundlage der Entwicklung der Produktionsdaten aus dem Emissionshandel vorgenommen werden musste. Die fehlende Zulieferung des Verbandes hat kartellrechtliche Hintergründe.
- Für die Kategorie Verkehr (überwiegend CRF 1.A.3) ist generell von geringen Unsicherheiten auszugehen, da die Treibstoffeinsätze und die Fahrzeugflotten aufgrund ihrer Steuerpflicht sehr genau bekannt sind und die Emissionsfaktoren sehr differenziert modelliert und in der Regel messtechnisch ermittelt werden. Hier ergeben sich möglicherweise Unsicherheiten aus systematischen Messfehlern oder aus falscher Disaggregation.
- In der Kategorie der diffusen Emissionen (CRF 1.B) liegen bei den Aktivitätsraten zu flüssigen und gasförmigen Brennstoffen (CRF 1.B.2) aufgrund derer Steuerpflicht geringen Unsicherheiten vor. Eine Ausnahme bildet lediglich die Abfackelung von Gasen. Die Aktivitätsraten der Kohleförderung (CRF 1.B.1) sind ebenfalls durch die Produktionsmenge gut erfasst. Für die Emissionsfaktoren der diffusen Emissionen ist dagegen mit höheren Unsicherheiten zu rechnen. Das ergibt sich durch die Vielzahl und der Heterogenität der für die diffusen Emissionen relevanten technischen Sachverhalte bei Transport, Lagerung und der Aufarbeitung von Erdgas und Erdöl.

- Im Bereich der Industrieprozesse (CRF 2) sind in vielen Branchen höhere Unsicherheiten festzustellen. Aktivitätsraten, welche auf Produktionszahlen beruhen, die gegenüber dem Statistischen Bundesamt meldepflichtig sind, können vor allem aufgrund von gegenüber den Berichtsstrukturen abweichenden Branchendefinitionen Unsicherheiten aufweisen. Aktivitätsraten, welche aus Verbandsangaben ermittelt werden, sind in Abhängigkeit des Organisationsgrades der jeweiligen Industriebranche in diesem Verband mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Bei den Emissionsfaktoren sprechen insbesondere die hohe Technikabhängigkeit einerseits und der hohe Grad der technischen Diversifizierung andererseits für je nach Treibhausgas höhere Unsicherheiten. Ferner ist zu bemerken, dass insbesondere in Branchen mit wenigen Marktakteuren (z.B. Herstellung chemischer Produkte, CRF 2.B) technikspezifische Emissionsfaktoren oftmals Betriebsgeheimnisse berühren, was wiederum zu einer prinzipiellen Zurückhaltung der Betreiber hinsichtlich der Veröffentlichung solcher Daten oder zu pauschalierten Angaben führt. Darüber hinaus erhöhen die teilweise sehr komplexen Entstehungsprozesse der Emissionen aus nicht-verbrennungsbedingten Aktivitäten und die unzureichenden Erkenntnisse bezüglich bestimmter Emissionen verursachender Vorgänge sowie das eingeschränkte Wissen über die Beiträge einzelner Aktivitäten, die Unsicherheiten.
- In der Nahrungsmittelproduktion (CRF 2.H.2) ist insbesondere im Bereich der Alkoholika von sehr geringen Unsicherheiten der Aktivitätsraten auszugehen, da dort Steuertatbestände existieren, die eine sehr genaue Erfassung der Produktionsmenge zur Folge haben. Branchen mit einem großen Anteil kleiner und mittlerer Betriebe (z.B. Backwarenherstellung) werden dagegen in der Regel wesentlich ungenauer erfasst, so dass die Aktivitätsraten mit höheren Unsicherheiten behaftet sind. Für die Emissionsfaktoren ist aufgrund der erheblichen technologischen Diversifizierung der Branche ebenfalls mit höheren Unsicherheiten zu rechnen.
- Für die Kategorien der Abfallbehandlung (CRF 5.A.1, 5.B und 5.E) und der Abwasserbehandlung (CRF 5.D) sind die Unsicherheiten der dort anzusetzenden Emissionsparameter als hoch anzunehmen. Das gilt insbesondere für die Bereiche der Kompostierung und MBA sowie auch für die Abfalldeponierung, da sich dort die Vielfalt der verschiedenen Abfallarten negativ auf die Datensicherheit der Emissionsparameter auswirkt. Bei den Aktivitätsraten lassen sich höhere Unsicherheiten u.a. darauf zurückführen, dass die zugrunde gelegten statistischen Daten uneinheitliche Abfall- bzw. Verwertungsbegriffe nutzen. Diese generellen Annahmen zu den Unsicherheiten der Aktivitätsraten gelten auch für die thermische Behandlung von Abfällen.

Weitere Informationen zu den Unsicherheiten einzelner Quellgruppen finden sich auch in den entsprechenden sektor-spezifischen Kapiteln dieses Berichts.

1.7.1.2 Ergebnisse der Unsicherheitenschätzung

Die Gesamtunsicherheit des Inventars nach Approach 1 für das Jahr 2020 beträgt 3,6 %, bei Approach 2 ergeben sich -3,2/+3,5%. Die folgende Tabelle bietet eine kompakte Übersicht der Unsicherheiten des Gesamtinventars:

Tabelle 11: Übersicht Unsicherheiten Gesamtinventar

	Base year	2020	Trend	Method	Base year uncertainty		2020 uncertainty		Trend uncertainty	
	kt	kt	%		%		%		%	
National total incl. LULUCF	1.272.618	717.473	-43,62	Approach 1	4,47		3,56		3,95	
				Approach 2	-2,97	+3,14	-3,18	+3,45	-9,01	+9,45
National total w/o LULUCF	1.245.615	728.738	-41,50	Approach 1	4,52		3,62		3,35	
				Approach 2	-2,38	+2,59	-2,07	+2,64	-6,56	+7,01

Die Übersicht zeigt die Unsicherheiten des deutschen Gesamtinventars jeweils inklusive sowie ohne CRF 4. Für beide Fälle sind Unsicherheiten für das Basisjahr, für 2019 und den Trend angegeben. Die Ermittlung erfolgt jeweils sowohl mittels Approach 1 als auch unter Verwendung der Monte-Carlo-Simulation (Approach 2). Letztere bietet einen deutlich besseren Einblick, zum Beispiel kommt nur bei den Approach-2-Unsicherheiten der Unterschied zwischen den beiden Zeilen (mit und ohne LULUCF) korrekt zur Geltung.

Detaillierte Angaben zu den vorliegenden Unsicherheiten nach Sektoren können dem Anhang 7 entnommen werden (siehe Kapitel 23). Im folgenden werden einige Sektoren genauer beschrieben, die großen Einfluss auf die Unsicherheit des Gesamtinventars haben:

- Die CO_2-Emissionen des Sektors Verbrennung von Brennstoffen (1.A) steuern einen wichtigen Anteil zur Gesamtunsicherheit bei, dabei dominieren die festen Brennstoffe des Sektors Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a) sowie die mobilen Quellen (1.A.3) mit Schwerpunkt Straßenverkehr (1.A.3.b) und die Feuerungen der Haushalte und Kleinverbraucher (1.A.4.a/b/c).
- Bedeutsame Beiträge zur Gesamtunsicherheit liefern die Lachgasemissionen insgesamt, die merklich durch die Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (3.B) und den landwirtschaftlichen Böden (3.D) bestimmt werden.
- Die CO_2-Senken und -Quellen des Sektors 4 LULUCF haben an der Gesamtunsicherheit ebenfalls einen maßgeblichen Anteil.

Nennenswerte Beiträge zur Gesamtunsicherheit liefern weiter die Methan-Emissionen aus der Nutztierhaltung (Fermentation bei der Verdauung, 3.A) sowie die Energieeinsätze im Industriebereich unter 1.A.2.a und 1.A.2.g.

1.7.2 KP-LULUCF-Inventar

Da dieselben Daten und Methoden zur Berichterstattung der Kategorien 4.A-4.G unter UNFCCC und unter KP verwendet werden, sind auch die Unsicherheiten vergleichbar. Es gelten die Informationen des vorangegangenen Kapitels und der Kategoriekapitel (siehe auch Kapitel 11.3.1.5).

1.8 Generelle Prüfung der Vollständigkeit

1.8.1 Treibhausgas-Inventar

Angaben zur Vollständigkeit für die einzelnen Kategorien wird in CRF-Tabelle 9(a) dargestellt, die im NIR zusätzlich in Kapitel 21 (Tabelle 575 und Tabelle 576) zusammengefasst wird. Unterschieden werden in Deutschland:

> nicht auftretende quellenspezifische Emissionen und Senken (NO - not occurring) und nicht berichtete quellenspezifische Emissionen und Senken, weil sie quantitativ nicht relevant oder weil die notwendigen Daten für eine Berechnung nicht vorhanden sind (NE - not estimated).

Im Folgenden wird kategoriespezifisch auf einige Ansatzpunkte zur Verbesserung des Inventars hinsichtlich seiner Vollständigkeit hingewiesen.

Alle verbrennungsbedingten Aktivitäten (1.A) aus dem Bereich der Energie sind vollständig erfasst. An einigen Stellen wird die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland ergänzt, wenn erkennbar wird, dass in Teilbereichen keine vollständige Abdeckung erreicht wird (z.B. nicht kommerzieller Holzeinsatz, Sekundärbrennstoffe). In einigen Kategorien ist die Trennung von verbrennungsbedingten und nicht-verbrennungsbedingten Emissionen aus der Industrie

noch weiter zu verifizieren; die Vermeidung von Doppelzählungen ist hier jedoch generell Bestandteil der Qualitätssicherung.

Im Bereich der Industrieprozesse wird teilweise auf Produktionsdaten aus Verbandsstatistiken und auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Basiert die Emissionsberichterstattung auf diesen Quellen, wird zur Sicherstellung der Vollständigkeit und Zuverlässigkeit des Inventars auch in Zukunft Wert auf die Prüfung des Kategorien-Zuschnitts und der Methodik der Datenerhebung gelegt.

Bei den Emissionen die als „Not Estimated“ (NE) berichtet werden handelt es sich um Emissionen, die gemäß 24/CP.19 Annex I (siehe FCCC/CP/2013/10/Add.3) für das Gesamtniveau und die Entwicklung der nationalen Emissionen von untergeordneter Bedeutung wären. Eine Emission ist nur dann als unbedeutend anzusehen, wenn die wahrscheinliche Höhe der Emissionen unter 0,05 Prozent der nationalen Gesamtemissionen an Treibhausgasen liegt und 500 kt CO_2-Äquivalent nicht überschreitet.

Einige der Emissionsdaten, die dem UBA zur Verfügung stehen, stehen aus Gründen des Datenschutzes unter Geheimhaltung und werden zwar vollständig, aber nur aggregiert berichtet.

1.8.2 KP-LULUCF-Inventar

Da es keine Unterschiede in den Daten und Methoden zur Berichterstattung der Kategorie 4.A-4.G unter UNFCCC und unter KP gibt, gelten die Informationen des vorangegangenen Kapitels.

2 Trends der Treibhausgase

In der folgenden Tabelle 12 werden die für dieses Inventar ermittelten Gesamtemissionen der direkten und indirekten Treibhausgase sowie des Säurebildners SO_2 zusammengestellt. Der gegenüber 1990 erreichte jährliche Fortschritt wird in der Tabelle 13 im zeitlichen Verlauf abgebildet. Bei allen Substanzen bis auf einzelne F-Gase konnten deutliche Emissionsminderungen erreicht werden. Insgesamt sanken die Emissionen der Treibhausgase als CO_2-Äquivalente gegenüber 1990 um 41,3 %[17].

Alle detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion finden sich im Anhangkapitel 22.3.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr 2019 sanken die Gesamtemissionen um 8,9 %. Grund für die Minderung ist vor allem der erneute Rückgang in der Energiewirtschaft, neben niedrigen Weltmarktpreisen für Gas führte die erfolgreiche Reform des europäischen Emissionshandels zu höheren CO_2-Preisen, die zu einer Reduktion der Braun- und Steinkohlenverstromung geführt haben.

[17] Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Kategorie Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Tabelle 12: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO_2 in Deutschland seit 1990

Emissions Trends	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
		(kt)													
CO_2 emissions (without LULUCF)	**1.051.979**	**938.614**	**899.352**	**866.303**	**832.541**	**808.912**	**813.693**	**831.208**	**792.255**	**795.557**	**800.340**	**785.616**	**754.408**	**707.150**	**639.381**
Net CO_2 emissions/removals	1.076.570	911.628	887.392	867.709	814.811	789.854	784.512	804.688	766.386	771.823	774.608	760.212	730.929	688.886	624.731
CH_4 (without LULUCF)	**4.742**	**4.174**	**3.512**	**2.748**	**2.326**	**2.282**	**2.304**	**2.279**	**2.234**	**2.225**	**2.175**	**2.152**	**2.080**	**1.998**	**1.961**
CH_4 (with LULUCF)	4.800	4.231	3.569	2.812	2.395	2.352	2.374	2.350	2.306	2.298	2.247	2.225	2.158	2.073	2.036
N_2O (without LULUCF)	**195**	**185**	**122**	**126**	**103**	**104**	**104**	**105**	**106**	**106**	**106**	**104**	**100**	**97**	**95**
N_2O (with LULUCF)	198	189	126	130	108	108	109	109	111	111	111	109	105	102	100
F-Gases sum (CO_2 equivalent, 1995 base year)	13.395	17.092	13.293	14.184	14.246	14.426	14.609	14.642	14.657	15.116	15.215	15.288	14.411	13.692	12.159
Total Emissions (without LULUCF) (CO_2 equi.)	**1.241.919**	**1.115.305**	**1.036.926**	**986.709**	**935.768**	**911.244**	**916.901**	**933.987**	**894.465**	**897.954**	**901.442**	**885.729**	**850.542**	**799.734**	**728.738**
Total Emissions/Removals with LULUCF (CO_2 equi.)	1.268.922	1.090.716	1.027.337	991.058	921.074	895.267	890.853	910.653	871.834	877.519	878.975	863.618	830.492	784.842	717.473
NO_X	2.839	2.186	1.893	1.632	1.445	1.419	1.411	1.410	1.365	1.342	1.315	1.264	1.179	1.106	978
SO_2	5.460	1.742	643	473	403	387	368	357	335	334	309	301	289	259	233
NMVOC	3.892	2.342	1.806	1.487	1.362	1.272	1.257	1.212	1.174	1.147	1.141	1.145	1.099	1.072	1.036
CO	13.081	7.100	5.084	3.837	3.513	3.429	3.175	3.134	2.965	3.069	2.946	2.961	2.852	2.753	2.455

Tabelle 13: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland seit dem jeweiligen Bezugsjahr (1990/1995)

Emissions Trends Changes compared to base year / prev. year (%)	Base Year	Base Year to 2019	Base Year to 20120	compared to prev. year (2019 – 2020)
CO_2 emissions (without LULUCF)	***1990***	**-32,8**	**-39,3**	**-9,6**
Net CO_2 emissions/removals	1990	-36,0	-42,0	-9,3
CH_4 (without LULUCF)	***1990***	**-57,9**	**-58,7**	**-1,9**
N_2O (without LULUCF)	***1990***	**-50,1**	**-51,4**	**-2,6**
F-Gases sum	***1995***	**-19,9**	**-28,9**	**-11,2**
Total Emissons (without LULUCF)	**1990**	**-35,6**	**-41,3**	**-8,9**
NO_X	***1990***	**-61,1**	**-65,6**	**-11,6**
SO_2	***1990***	**-95,2**	**-95,7**	**-10,4**
NMVOC	***1990***	**-72,5**	**-73,4**	**-3,4**
CO	***1990***	**-79,0**	**-81,2**	**-10,8**

2.1 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für aggregierte Treibhausgasemissionen

Von 1990 bis zum Jahr 2020 konnten die Treibhausgasemissionen mit einem Rückgang von 41,3 % deutlich reduziert werden[18]. Die einzelnen Treibhausgase trugen dabei in unterschiedlichem Maß zu dieser Entwicklung bei (siehe Tabelle 1). Bei den direkten Treibhausgasen konnten die Emissionen der mengenmäßig dominierenden Gase deutlich gemindert werden, am stärksten bei Methan. Die Hauptursachen für diese Entwicklungen sind im Folgenden benannt:

- Umstellungen der Nutzung fester Brennstoffe auf emissionsärmere flüssige und gasförmige Brennstoffe im Zeitraum seit 1990;
- Steigende Bedeutung der Nutzung der Erneuerbaren Energien und damit verbundene Substitution fossiler Brennstoffe;
- Gesteigerte Anlageneffizienz;
- Veränderung von Tierhaltungsbedingungen und der Abbau von Tierbeständen;
- Erfüllung gesetzlicher Regelungen im Bereich der Abfallwirtschaft;

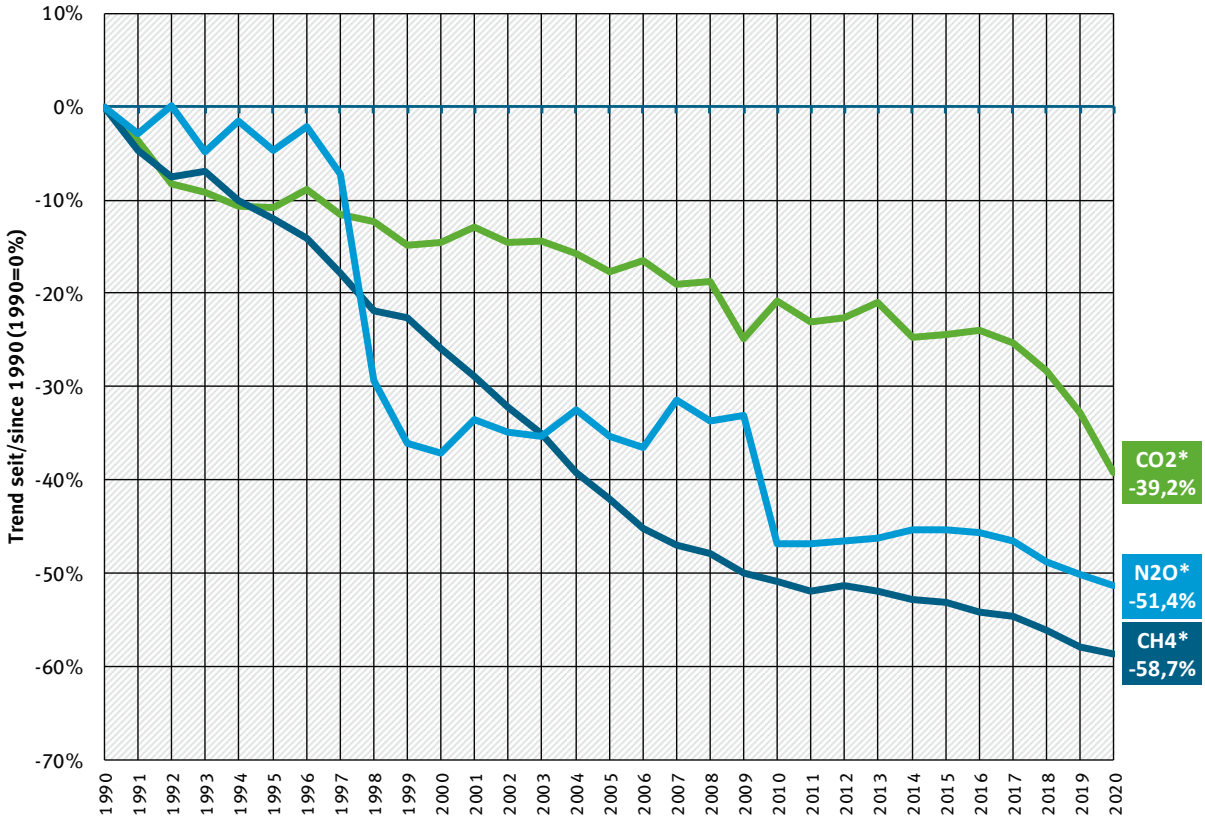
Die Ursachen werden nachfolgend in der Trenddiskussion der einzelnen Treibhausgase näher ausgeführt.

Die Freisetzung von Kohlendioxid - weit überwiegend verursacht durch die Prozesse der stationären und mobilen Verbrennung – dominiert das Gesamtbild der aggregierten Treibhausgasemissionen. Durch den überdurchschnittlichen Rückgang der anderen Treibhausgase ist der Anteil der CO_2-Emissionen an den Gesamttreibhausgasen seit 1990 gestiegen (s. Tabelle 2). Alle anderen Treibhausgase verursachen zusammen nur etwas über ein Zehntel der Gesamttreibhausgasemissionen. Das Verteilungsspektrum der Treibhausgasemissionen ist typisch für ein hoch industrialisiertes Land.

[18] Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Kategorie Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

2.2 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Treibhausgasen

Abbildung 14: Relative Entwicklung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas gegenüber 1990



* Kohlendioxid-Emissionen ohne LULUCF

In Abbildung 14 wird die relative Entwicklung der Emissionen der einzelnen Treibhausgase seit 1990 dargestellt. Bei der Diskussion ist zu beachten, dass hier die Entwicklung jedes dieser Treibhausgase weitgehend durch spezifische Entwicklungen in einer Kategorie dominiert wird.

2.2.1 Kohlendioxid (CO_2)

Die Minderung der CO_2-Emissionen ist stark mit der Entwicklung im Energiesektor verbunden. Der starke Rückgang der Emissionen in diesem Bereich in den frühen 90er Jahren ist hauptsächlich auf die Umstrukturierungsprozesse in den neuen Bundesländern zurückzuführen; der damit einhergehende Umstieg auf emissionsärmere Energieträger sowie die Stilllegung veralteter Anlagen. Die Änderungen im Energieträgermix setzen sich in etwas abgeschwächter Form bis zum aktuellen Berichtsjahr fort.

Die Substitution von festen und flüssigen Brennstoffen durch Gase, im Wesentlichen Erdgas, zeigt sich auch in der Emissionsentwicklung der stationären Feuerungen. Während die CO_2-Emissionen der flüssigen Energieträger im Vergleich zum Jahr 1990 um ca. 48 Prozent abnehmen, die der festen Brennstoffe sogar um rund 67 Prozent, steigen die Emissionen von gasförmigen Brennstoffen um fast 41 Prozent.

Wird der Emissionstrend auf Ebene der einzelnen Kategorien betrachtet, so fällt die Entwicklung sehr einheitlich aus. Verglichen mit 1990 sanken die Emissionen in allen Unterkategorien der stationären Feuerungen um insgesamt fast 371 Mio. t CO_2.

Etwas anders sieht die Entwicklung nur im vom Straßenverkehr dominierten Verkehrssektor aus: Die CO_2-Emissionen stiegen hier bis 1999 auf 184 Mio. t. an, gingen dann aber durch Verbrauchssenkungen, die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland[19], die Substitution von Benzin durch Diesel[20] sowie die Beimischung von Biodiesel leicht zurück. U.a. durch den stetigen Anstieg der durchschnittlichen Motorleistung stellte sich seit etwa 2007 ein stagnierender Trendverlauf bei um die 153 Mio. t ein, der durch einen Wiederanstieg von Verkehrs- und Fahrleistungen sowie den Rückgang der eingesetzten Biokraftstoffe in den Jahren ab 2013 nach oben verlassen wurde. Der Höchstand war 2017 mit 167 Mio. t. erreicht, danach sanken die Emissionen wieder auf etwas über 160 Mio. t. Das Jahr 2020 liegt v.a. bedingt durch diverse Sondereffekte mit 145 Mio. t. deutlich unterhalb des langjährigen Trends.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr sanken die CO_2-Emissionen vor allem der mengenmäßig dominierenden Energiewirtschaft erneut extrem (-15,4 % bzw. knapp 38 Mio. t), v.a. aufgrund von Sondereffekten sanken die Emissionen des Verkehrs, von Gewerbe, Handel, Dienstleistung, dem verarbeitenden Gewerbe und dem Militär deutlich, während die Emissionen der Haushalte minimal stiegen.

2.2.2 Lachgas (N_2O)

Die N_2O-Emissionen sanken seit 1990 um ca. 51 %. Hauptverursacher sind die Anwendung stickstoffhaltiger Dünger in der Landwirtschaft, die Brennstoffnutzung und die landwirtschaftliche Tierhaltung. Vergleichbar geringere Emissionen entstehen durch die Abwasserbehandlung, die chemische Industrie und die Produktverwendung von N_2O (z.B. als Narkosemittel). Den deutlichsten Einfluss auf die Emissionsminderung hat der Industriebereich, hier insbesondere die Adipinsäureproduktion durch die Installation von Abgasbehandlungsanlagen in den Jahren 1997 und 2009. Durch technische Minderungsmaßnahmen wurden die Emissionen aus der Chemischen Industrie bezogen auf 1990 um 97 % gemindert, seit 1999 wird die Emissionsentwicklung der verbleibenden Emissionen stark durch die konjunkturelle Entwicklung in der chemischen Industrie beeinflusst.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr sanken die Gesamtemissionen (-2,6 %), bedingt durch weiterhin sinkende Emissionen vor allem aus der Mineraldünger-Anwendung der auch mengenmäßig dominierenden Landwirtschaft (-1,6 %).

2.2.3 Methan (CH_4)

Die Methanemissionen werden hauptsächlich durch die landwirtschaftliche Tierhaltung, die Abfalldeponierung und die Verteilung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe verursacht. Dem gegenüber sind die energie- und prozessbedingten Emissionen, sowie die Emissionen aus der Abwasserbehandlung fast zu vernachlässigen. Die Emissionen konnten seit 1990 um 58,7 % gemindert werden. Dieser Trend wurde hauptsächlich im Ergebnis umweltpolitischer Maßnahmen (Abfalltrennung mit verstärktem Recycling und zunehmender energetischer Verwertung der Abfälle) durch den Rückgang der Deponierung organischer Abfallmengen verursacht. Eine zweite wesentliche Ursache besteht in der verstärkten energetischen Nutzung

[19] Die Berechnung der Emissionen erfolgt auf Basis des inländischen Kraftstoffabsatzes. Nicht in Deutschland getankte Mengen schlagen sich daher auch nicht deutschen Emissionsinventar nieder.

[20] Der Anteil von Dieselkraftstoff am Gesamtkraftstoffverbrauch im Straßenverkehr ist im gesamten Zeitraum stark gestiegen. Wurden die Emissionen im Straßenverkehr 1990 noch zu fast zwei Dritteln durch den Benzinverbrauch verursacht, hat sich dieses Verhältnis seitdem beinahe umgekehrt.

von Grubengas bei gleichzeitigem Rückgang des Aufkommens (Schließung von Steinkohlebergwerken). Die Emissionen der Kategorie 1.B Diffuse Emissionen aus Brennstoffen sanken demenstprechend seit 1990 um über 85 %. Ein weiterer Grund für die Emissionsminderung bestand in der Verringerung der Tierbestände, vorwiegend in der ersten Hälfte der 90er Jahre in den neuen Bundesländern. Insbesondere auch die in diesem Teil Deutschlands durchgeführte Sanierung der veralteten Gasverteilungsnetze und die Verbesserungen bei der Verteilung der Kraftstoffe bewirkten weitere Minderungen der Gesamtemissionen.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr sanken die Emissionen um 1,9 %. Die mengenmäßig größten Rückgange sind bei Emissionen aus den den Deponien, der Landwirtschaft und den Diffusen Emissionen aus Brennstoffen zu beobachten.

2.2.4 F-Gase

Die Emissionen der F-Gase machen im jahr 2020 nur etwa 1,7 % der Gesamtemissionen aus. Sie sanken seit 1995 (dem Basisjahr für die F-Gase) um 29 %, doch der Trend der einzelnen Substanzen bzw. Substanzgruppen ist recht inhomogen:

Die Emissionen der **HFKW** stiegen vor allem aufgrund des verstärkten Einsatzes als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlagen und der zunehmenden Entsorgung dieser Anlagen. Emissionsreduzierungen durch den verminderten Einsatz in PU-Montageschäumen wurden dabei überkompensiert.

Die Emissionsminderungen bei den **FKW** wurden hauptsächlich durch Anstrengungen der Hersteller von Primäraluminium und der Halbleiterhersteller erreicht.

Der Rückgang bei den **SF_6**-Emissionen bis etwa 2003 geht in erster Linie auf die seit Mitte der 1990er Jahre auslaufende Anwendung in Autoreifen zurück. Hier hat eine erfolgreiche Umweltaufklärung eine Emissionssenkung um über 100 t bewirkt und die Treibhausgasemissionen um 2,5 Mio. t CO_2-Äquivalente gesenkt. Vergleichbares gilt für Schallschutzscheiben, in denen SF_6 bei der Herstellung gegenüber 1995 auf null reduziert wurde. Die heutigen und künftigen SF_6-Emissionen stammen zu einem Großteil aus der offenen Entsorgung alter Scheiben. Auch bei Anlagen zur Elektrizitätsübertragung sanken die Emissionen deutlich. Wichtige verbleibende Emissionsquellen sind das Schweißen und von optischen Glasfasern.

NF_3 wird in Deutschland seit 2015 nur noch in der Halbleiterproduktion eingesetzt. Aufgrund der geringen Relevanz für die Gesamttreibhausgasemissionen wird hier keine gesonderte Trendbetrachtung durchgeführt.

2.3 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Kategorien

Energie

Die Emissionsminderung im Energiebereich resultiert im Wesentlichen aus dem starken Rückgang der verbrennungsbedingten CO_2 Emissionen (siehe hierzu auch die Ergebnisse der Key-Category-Analyse). Demgegenüber können in diesem Bereich die Emissionen der anderen Treibhausgase vernachlässigt werden. Dies stellt sich lediglich bei den nichtverbrennungsbedingten Emissionen (Kategorie 1.B.) anders dar. Hier sind die CO_2-Emissionen sehr gering, während die Emissionsentwicklung deutlich durch die aus der Verteilung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe verursachten CH_4-Emissionen geprägt wird.

Insgesamt nahmen die energiebedingten Emissionen aller Treibhausgase seit 1990 um 41,3 % ab. Die darin enthaltenen Emissionen des Verkehrs sanken v.a. aufgrund von Sondereffekten im Zeitraum um etwa 10,5 %. Bei den Emissionen aus stationären Feuerungen resultieren die Minderungen aus Umstellungen im Mix der eingesetzten Brennstoffe, der Erhöhung der Energieeffizienz und technischer Wirkungsgrade. Außerdem wirkt sich die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus, weil dadurch vor allem fossile Stromerzeugung ersetzt wird, wobei Kohlendioxid aus dem Einsatz von Biomasse nicht in den Emissionstrends abgebildet wird. Dagegen wirken sich bei den Verteilungsemissionen die verstärkte Grubengasnutzung, die Sanierung der Gasverteilungsnetze sowie die Einführung von Gaspendelungsanlagen bei der Kraftstoffverteilung aus.

In Tabelle 584 im Anhang werden für den Zeitraum seit 1990 die jeweiligen Emissionsveränderungen gegenüber dem Vorjahr zusammengestellt. Für CO_2 aus dem Energiebereich wird zum Beispiel deutlich, dass größtenteils temperaturbedingte Fluktuationen im Zeitverlauf - besonders unterschiedliche Temperaturverläufe im Winter - das Heizverhalten und damit den Energieverbrauch zur Erzeugung von Raumwärme die jährlichen energiebedingten Emissionen beeinflussen, so dass eine Trendbetrachtung immer mehrere Jahre umfassen sollte.

Industrieprozesse (inkl. Produktverwendung)

Der Bereich der Emissionen aus den Industrieprozessen wird von den Treibhausgasen Kohlendioxid und Lachgas dominiert. Relativ auffällige Änderungen bei den Emissionen von F-Gasen haben dagegen auf Grund des geringen Anteils an den Gesamtemissionen keinen großen Einfluss auf den Gesamttrend.

Die Emissionen aus Industrieprozessen sind stark an das Produktionsniveau gekoppelt. Speziell die CO_2-Emissionen bilden hauptsächlich den Konjunkturverlauf der mineralischen, chemischen und metallherstellenden Industrien ab.

Ein nicht an die Produktion gekoppelter Trend konnte bei den N_2O-Emissionen erreicht werden, weil bei der Adipinsäureproduktion emissionsmindernde Maßnahmen der Hersteller wirksam wurden. Dies hat insbesondere in den Jahren 1997 und 2010 zu deutlichen Reduktionen der N_2O-Emissionen aus dieser Branche geführt. Insgesamt sanken hier die N_2O-Emissionen seit 1990 auf ca. ein Zwanzigstel.

Für alle Industrieprozesse und Produktverwendungen zusammen ergibt sich für die Treibhausgase seit 1990 somit eine Minderung an THG-Äquivalenten um 42,7 %, und deutlich fallende Emissionen im Vergleich zum Vorjahr 2019.

Landwirtschaft

Die Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen um 20,5 % seit 1990 geht im Wesentlichen auf eine Abnahme der Tierbestände, aber auch auf Reduktionen der Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Düngeranwendung zurück. Der Trend der letzten Jahre setzt sich somit fort.

Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Die Abnahme der Einbindung von Treibhausgasen durch Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft ist im Wesentlichen auf eine veränderte Senkenfunktion in der Kategorie „Forest Land remaining Forest Land“ zurückzuführen. Dies ist insbesondere auf Sturmereignisse mit sehr hohem Schadholzanfall zurückzuführen. 1990 traf auf Deutschland eine Serie von Orkanen mit einem daraus resultierenden Sturmholzaufkommenvon ca. 70 Mill. m^3. 2007 war es der Sturm Kyrill mit einem Sturmholz von ca. 37 Mill m^3. Aktuell wird durch Trockenheit und daraus

resultierenden Käferbefall für die Jahren 2018 bis Mitte 2020 ein geschätztes Schadholzaufkommen von ca. 178 Mill. m^3 (BMEL, 2020) angenommen. In den Berichtszahlen für die Jahre 2018-2020 spiegeln sich diese Schadholzmengen noch nicht in vollen Umfang wider. Weitere Änderungen ergaben sich durch Modellanpassung bzw. Korrekturen der Emissionsfaktoren bei der Umwandlung von Gehölzen (Grünland) zu Wald und für Aufforstung.

Abfall und Abwasser

Die deutlichste Emissionsminderung von 76,9 % trat im Bereich Abfall & Abwasser auf. Hier hat die Einführung eines verstärkten Recyclings von wiederverwertbaren Stoffen (Gelber Sack, Verpackungsverordnung u.ä.) sowie die seit Juni 2005 nicht mehr zugelassene Deponierung von biologisch abbaubaren Abfällen (zum überwiegenden Teil realisiert durch die Mechanisch Biologische Abfallbehandlung) zu einer Verringerung der jährlich deponierten Abfallmengen geführt und damit eine Minderung von 80,2 % im Bereich der Deponieemissionen verursacht. Die ebenfalls zu dieser Kategorie gehörenden Emissionen aus der Abwasserbehandlung treten mengenmäßig deutlich hinter den Deponieemissionen zurück, sanken jedoch ebenfalls sehr stark.

Die detaillierten Daten finden sich in Tabelle 585 in Anhangkapitel 22.3.

Tabelle 14: Veränderungen der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr

Emissionsentwicklung gegenüber 1990, Veränderung in %	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2105	2016	2017	2018	2019	2020
1. Energie	0,0%	-11,5%	-16,1%	-19,7%	-22,7%	-25,0%	-24,4%	-22,7%	-26,6%	-26,1%	-25,8%	-27,6%	-30,5%	-35,0%	-41,3%
2. Industrieprozesse	0,0%	1,8%	-19,6%	-22,0%	-35,4%	-35,5%	-36,5%	-36,7%	-36,8%	-37,8%	-35,9%	-32,0%	-35,0%	-38,3%	-42,7%
3. Landwirtschaft	0,0%	-13,2%	-13,6%	-17,7%	-18,2%	-18,0%	-17,1%	-16,0%	-14,2%	-14,4%	-15,0%	-16,0%	-18,3%	-19,4%	-20,5%
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	*0,0%*	-191,1%	-135,5%	-83,9%	-154,4%	-159,2%	-196,5%	-186,4%	-183,8%	-175,7%	-183,2%	-181,9%	-174,3%	-155,2%	-141,7%
5. Abfall	0,0%	0,2%	-25,3%	-44,2%	-61,9%	-64,0%	-66,0%	-68,0%	-69,6%	-71,2%	-72,6%	-73,7%	-74,9%	-75,8%	-76,9%
Emissionsentwicklung, gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
1. Energie	0,0%	-0,2%	-0,3%	-2,4%	5,0%	-3,0%	0,9%	2,2%	-5,0%	0,7%	0,3%	-2,4%	-4,0%	-6,5%	-9,7%
2. Industrieprozesse	0,0%	-1,7%	3,8%	-4,2%	-4,9%	-0,1%	-1,5%	-0,4%	-0,2%	-1,6%	3,1%	6,2%	-4,5%	-5,0%	-7,2%
3. Landwirtschaft	0,0%	0,0%	-1,0%	-0,3%	-0,8%	0,1%	1,2%	1,3%	2,2%	-0,3%	-0,7%	-1,1%	-2,8%	-1,3%	-1,4%
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft (CO_2, CH_4 & N_2O)	*0,0%*	-21,3%	-68,1%	-45,6%	-25,8%	8,7%	63,0%	-10,4%	-3,0%	-9,7%	9,9%	-1,6%	-9,3%	-25,7%	-24,4%
5. Abfall	0,0%	-2,5%	-5,2%	-6,0%	-7,2%	-5,4%	-5,6%	-5,9%	-4,9%	-5,3%	-5,0%	-4,0%	-4,3%	-3,7%	-4,6%

2.4 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für indirekte Treibhausgase und SO_2

Die relative Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und SO_2 sind grafisch in der Abbildung 15 und in Tabelle 13 jeweils als Zeitreihen seit 1990 dargestellt. In diesem Zeitraum wurden deutliche Minderungen der Emissionen dieser Schadstoffe erreicht. So gingen die Emissionen von SO_2 um 95,7 %, die von CO um. 81,2 %, die von den NMVOC um 73,4 % und die von NO_X um ca. 65,6 % zurück.

Die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxid, Kohlenmonoxid sind weit überwiegend durch stationäre und mobile verbrennungsbezogene Emissionen verursacht. Daneben treten bei den

NMVOC-Emissionen noch die Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln mit in den Vordergrund.

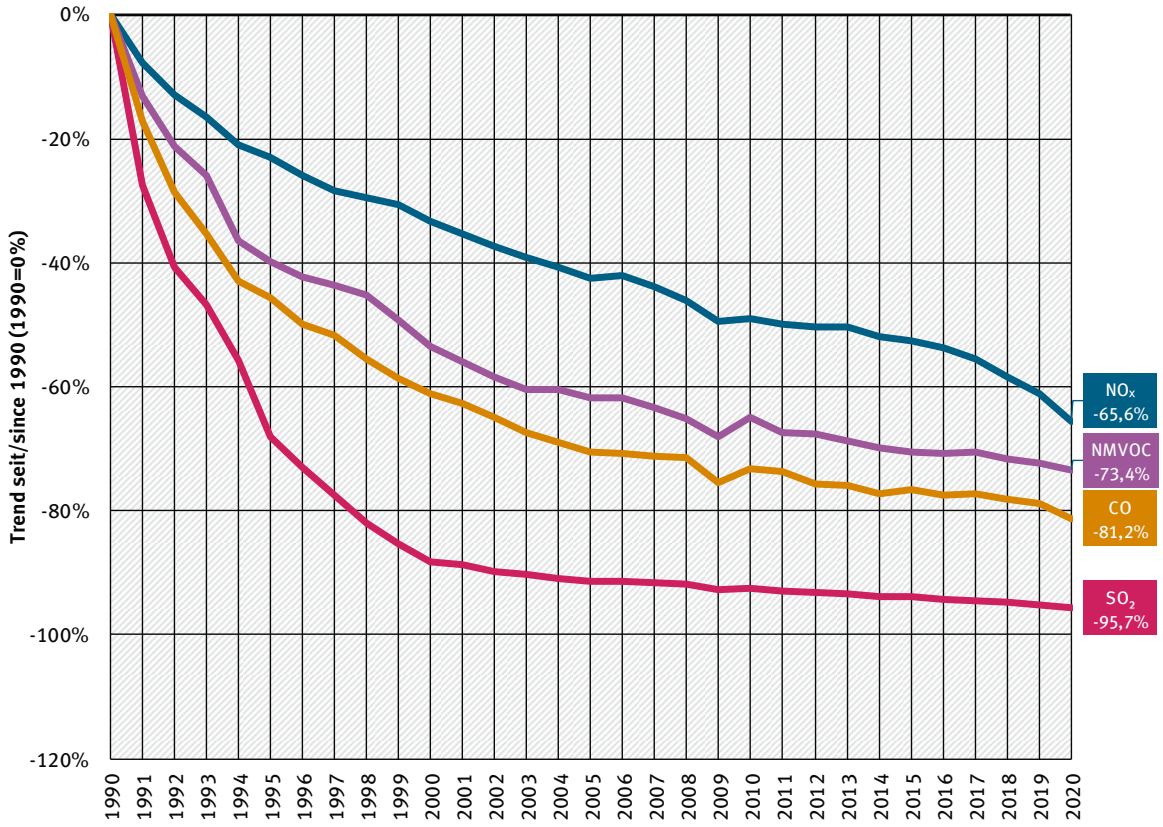
Die im Folgenden aufgeführten Ursachen für diese Entwicklung sind dabei für alle hier betrachteten Komponenten in unterschiedlichem Ausmaß und mit unterschiedlicher Gewichtung relevant:

- Durch die Wiedervereinigung Deutschlands im Jahre 1990 trugen insbesondere die Emissionen des Gebietes der ehemaligen DDR zu einem sehr hohen Ausgangsniveau bei.
- In den Folgejahren wurden im Osten Deutschlands veraltete Industrieanlagen stillgelegt. Einige der Altanlagen wurden durch Neuanlagen ersetzt, die zum damaligen Zeitpunkt den modernsten Anforderungen genügten. Nicht stillgelegte Altanlagen wurden mit umfangreichen Emissionsminderungsmaßnahmen und mit die Energieeffizienz erhöhenden Maßnahmen nachgerüstet.
- Zudem erfolgte eine Umstellung des eingesetzten Brennstoffmixes. Insbesondere im Osten Deutschlands wurde der Anteil der heimischen Braunkohle zugunsten der mit geringeren Emissionen verbundenen Energieträger Erdgas und Heizöl reduziert.
- Im Verkehrsbereich erfolgte der Einsatz neuerer und mit schadstoffmindernder Technik ausgestatteter Fahrzeuge
- In den Jahren nach 1990 erlangten die immissionsschutzrechtlichen Regelungen der früheren Bundesrepublik Rechtsverbindlichkeit im Osten Deutschlands. Nach dem Auslaufen von zeitlich begrenzten Übergangsregelungen wurde das geltende Recht mehrfach an den weiterentwickelten Stand der Technik angepasst.
- Eingeführte gesetzliche Regelungen und marktwirtschaftliche Anreize führten zu einem sparsameren Umgang mit Energie und Rohstoffen.
- Internationale Rechtssetzung insbesondere der europäischen Gemeinschaft wirkte sich emissionsmindernd aus.
- Der zunehmende Einsatz von erneuerbaren Energieträgern (Strom/Wärme aus Sonne, Wind und Geothermie) wirkte sich insbesondere in den letzten Jahren auch auf die Emissionen der indirekten Treibhausgase aus.

Beschreibungen der Emissionsberechnungen für diese Schadstoffe sowie weitere detaillierte Einflussparameter für die Emissionsentwicklungen der einzelnen Luftschadstoffe können im Internet-Angebot des Umweltbundesamtes[21] eingesehen werden.

[21] https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen sowie direkt im Informative Inventory Report (IIR): http://iir.umweltbundesamt.de

Abbildung 15: Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und von SO_2



2.5 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für das KP-LULUCF-Inventar, für aggregierte Emissionen, nach Aktivität und Treibhausgas

Deutschland berichtet unter KP-LULUCF Artikel 3 Absatz 3 Aufforstung/Wiederaufforstung und Entwaldung (Afforestation/Reforestation, AR; Deforestation, D). In der zweiten Verpflichtungsperiode muss Deutschland Waldbewirtschaftung (Forest management, FM) nach Artikel 3, Absatz 4 des Kyotos-Protokolls anrechnen lassen. Als freiwillige Aktivitäten unter Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls wurden:

- 1. Ackerlandbewirtschaftung (Cropland management, CM)
- 2. Weidelandbewirtschaftung (Grazing land management, GM) gewählt und berichtet.

Berichtet werden die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas.

Unter Artikel 3.3 werden für das Jahr 2020 Emissionen von 549,05kt CO_2-äquivalent berichtet. Die Emission setzt sich zusammen aus der Einbindung durch Aufforstung und Wiederaufforstung von -725,09kt CO_2-äquivalent und aus Emissionen von Entwaldung von 1.274,14kt CO_2-äquivalent. Unter Aufforstung und Entwaldung werden Emissionen von CO_2 mit 420,85kt CO_2, CH_4 mit 60,74kt CO_2-äquivalent und N_2O mit 67,45kt CO2-äquivalent berichtet.

Unter Artikel 3.4 werden Einbindungen im Jahr 2020 von -17.081,05 kt CO_2-äquivalent berichtet. Das setzt sich zusammen aus der Einbindung von -54.038,73kt CO_2-äquivalent aus Waldbewirtschaftung und Emissionen von 16.551,80kt CO_2-äquivalent aus Ackerbewirtschaftung sowie 20.465,60kt CO_2-äquivalent aus Weidebewirtschaftung. Die Emissionen für die drei Aktivitäten unterteilt nach den Gasen beträgt für CO_2 -19.465,71kt, CH_4 1.222,07kt CO_2-äquivalent und N_2O 1.162,59kt CO_2-äquivalent.

Ein Trend für die Aufforstung und Entwaldung sowie der Wald-, Acker- und Grünlandbewirtschaftung ist nicht zu erkennen. Die jährlichen Werte ab 2013 schwanken und liegen in manchen Jahren unter und in anderen Jahren über dem Mittelwert von 2013 bis 2020.

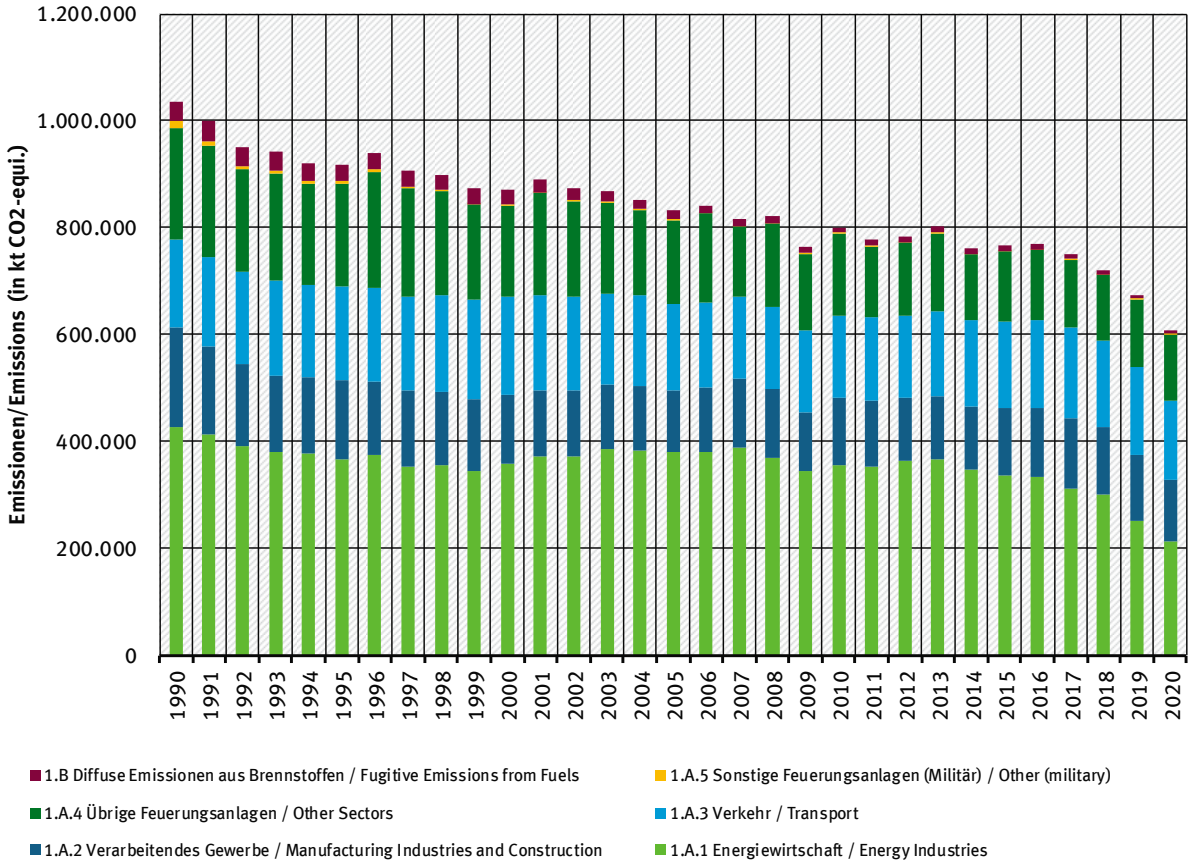
Tabelle 15: Emissionen von 2020 für die KP-LULUCF-Aktivitäten Aufforstung und Entwaldung unter Artikel 3.3 und Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung unter Artikel 3.4.

Kategorie	Emission 2020 [kt CO_2-äquivalent]
KP 3.3 Afforestation/Reforestation	-725,09
KP 3.3 Deforestation	1.274,14
KP 3.4 Forest Management	-54.098,45
KP 3.4 Cropland Management	16.551,80
KP 3.4 Grazing Land Management	20.465,60

3 Energie (CRF Sektor 1)

3.1 Übersicht (CRF Sektor 1)

Abbildung 16: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 1 [22,]



Für die Ermittlung der Aktivitätsraten aus der Verbrennung werden für mobile und stationäre Quellen unterschiedliche Modelle verwendet: Für stationäre Quellen die „Bilanz der Emissionsursachen - BEU“ und für mobile Quellen das Modell „Transport Emission Estimation Model -TREMOD“. In beiden Modellen werden verbrennungsbedingte Aktivitäten ermittelt und in der Emissionsdatenbank „Zentrales System Emissionen - ZSE“ erfasst.

Mit diesen verbrennungsbedingten Aktivitäten erfolgt durch Multiplikation mit den zugehörigen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 18.8) innerhalb des ZSE die Berechnung der zugehörigen Emissionen. Hierbei wird von einer vollständigen Oxidation des in den Brennstoffen enthaltenen Kohlenstoffs ausgegangen.

3.2 Verbrennung von Brennstoffen (1.A)

Die Aktivitätsraten für stationäre Verbrennung werden im Modell „Bilanz der Emissionsursachen“ (BEU) berechnet. Dieses vom Umweltbundesamt entwickelte Modell verwendet als wesentliche Datengrundlage die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, die vor allem auf Basis amtlicher Statistiken erstellt wird. Die Energiebilanz ist in den Kapiteln 18.1 bis 18.4 ausführlich beschrieben.

[22] CO_2-Emissionen und Festlegungen in Böden werden unter Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft berichtet.

Mit Hilfe zusätzlicher Statistiken sowie verschiedener Annahmen werden diese Daten in den jeweiligen Sektoren der Energiewandlung und des Endverbrauchs weiter disaggregiert und ergänzt, soweit dies für eine adäquate Emissionsdarstellung erforderlich ist. Kriterien sind die immissionsschutzrechtliche Zulassung, Technologien und die Differenzierung bestimmter Brennstoffe. Das Modell besteht aus zwei Teilen: dem Teilmodell für die alten Bundesländer für die Jahre 1987-1994 und dem Teilmodell für Deutschland für die Jahre ab 1995. Das Modell für Deutschland ist überarbeitet und in den Berichten der zwei Forschungsvorhaben (FKZ 203 41 142: Graichen et al. (2005) und 204 41 132: Heilwig (2002)) ausführlich dokumentiert worden. Für die Berechnung wird seit dem Jahr 2009 ein Datenbank gestütztes System der BEU auf Basis der MESAP-Software eingesetzt, das im Rahmen der Forschungsvorhaben FKZ 204 42 203/03 und FKZ 360 16 010 (GICON, 2008) analog zum Teilmodell Deutschland entwickelt wurde. Seitdem wird das Energiedatenmodell in Eigenleistung regelmäßig aktualisiert. Für die neuen Bundesländer sind die Daten für 1990-1994 bereits direkt in das ZSE eingegeben worden. Ihre Ermittlung ist in Kapitel 19.1.1 beschrieben.

Aus der Energiebilanz werden für die Ermittlung der emissionsrelevanten Brennstoffeinsätze aus stationären Quellen folgende Zeilen herangezogen:

A: Umwandlungseinsatz (Energiebilanzzeile 9 bis 19)

1. **Öffentliche Wärmekraftwerke** (Zeile 11) sind Anlagen, deren Betreiber zu den öffentlichen Versorgern gehören. Dazu zählen auch Industriebetriebe, die ihre Kraftwerke zusammen mit Elektrizitätsversorgungsunternehmen als Gemeinschaftskraftwerke betreiben. Ausgewiesen wird der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung. In dieser Zeile der Energiebilanz enthalten ist auch der Brennstoffeinsatz in Heizkraftwerken der öffentlichen Versorgung, der der Stromerzeugung zuzuordnen ist.
2. **Industriewärmekraftwerke** (Zeile 12) umfassen folgende Betreibergruppen:
    - Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus,
    - Kraftwerke des Braunkohlenbergbaus,
    - Kraftwerke der Mineralölverarbeitung (Raffineriekraftwerke),
    - Kraftwerke, die Einphasenstrom für die Deutsche Bahn AG erzeugen (Bis 1999 werden die Einsatzmengen in den Bahnkraftwerken unter 1.A.2.g.vii berichtet (EBZ 12);ab 2000 werden sie mit den öffentlichen Kraftwerken unter 1.A.1.a berichtet (EBZ 11)),
    - Kraftwerke der Industrie (Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau, verarbeitendes Gewerbe).

3. **Wasserkraft-, Windkraft-, Photovoltaik- u. a. Anlagen** (Zeile 14) umfasst alle Anlagen, die aus Biogas, Deponiegas, Klärgas, fester oder flüssiger Biomasse Strom erzeugen und diesen in das öffentliche Netz einspeisen. Weiterhin werden in diesem Teil der Energiebilanz auch die Brennstoffeinsätze der Mini-KWK Anlagen, die mit Erdgas oder leichtem Heizöl betrieben werden, berichtet. Da es für diese Anlagen keine Abschneidegrenze gibt, fallen darunter auch Kleinstanlagen aus den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.
4. **Heizkraftwerke** (Zeile 15): hier wird der Brennstoffeinsatz angegeben, der der Fernwärmeerzeugung zuzuordnen ist. Die Addition der Zeilen 11 und 15 ergibt den gesamten Brennstoffeinsatz in öffentlichen Wärmekraftwerken. Die erzeugte Fernwärme wird in öffentliche Wärmenetze eingespeist. Diese Anlagen versorgen auch Industriekunden mit Prozesswärme.
5. **Fernheizwerke** (Zeile 16): hier wird der Brennstoffeinsatz für die öffentliche Fernwärmeversorgung aus Heizwerken angegeben. Die Anlagen werden häufig zur

Spitzenlastdeckung in Fernwärmenetzen verwendet, in denen die Grundlast aus Heizkraftwerken gedeckt wird.

B: Energieverbrauch im Umwandlungsbereich (Energiebilanzzeile 33 bis 39)

6. In den Zeilen 33 bis 39 bzw. in der Summenzeile 40 (**Energieverbrauch im Umwandlungsbereich**) wird unter anderem der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung angegeben, der zum Betrieb der Umwandlungsanlagen notwendig ist. Hierbei wird nicht nach Art der Wärmeerzeugung unterschieden. So sind Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, Dampf- und Heißwasserkesseln und Prozessfeuerungen zusammengefasst. Eine Besonderheit in der Energiebilanz betrifft die Bilanzierung der Braunkohlengruben und -brikettfabriken. Seit dem Jahr 1980 wird dieser Eigenverbrauch gemeinsam mit dem Umwandlungseinsatz der Brikettfabriken zur Produktherstellung in der Zeile 10 verbucht. Damit ist der emissionsverursachende Einsatz des Eigenverbrauchs aus der Energiebilanz nicht mehr ablesbar und muss aus dem Umwandlungseinsatz heraus gerechnet werden. Die Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung bilden zusammen mit den Brennstoffeinsätzen zur Stromerzeugung der Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus, des Braunkohlenbergbaus und der Raffineriekraftwerke den gesamten Brennstoffeinsatz in diesen Anlagen. Nach Abzug der Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Kraftwerken vom gesamten Einsatz in Zeile 40 verbleibt die Brennstoffmenge, die in den Prozessfeuerungen, Dampf- und Heißwasserkesseln eingesetzt wird.

C: Endenergieverbrauch (Energiebilanzzeile 46 bis 67)

7. Im **Endenergieverbrauch der Industrie** (Zeile 60 der Energiebilanz) ist der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung dargestellt, der für die Produktion und zur Raumheizung erforderlich ist. Auch hier wird nicht nach Art der Wärmeerzeugung unterschieden. So bildet ein Teil des Endenergieverbrauchs in diesen Kategorien zusammen mit dem Brennstoffeinsatz der Industriekraftwerke zur Stromerzeugung den gesamten Brennstoffeinsatz in diesen Anlagen.
8. Die Angaben zum **Endenergieverbrauch der Haushalte** (Zeile 66 der Energiebilanz) beinhalten die Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung, das sind die Anwendungsbereiche Heizung, Warmwasserbereitung und Kochen.
9. Die Angaben zum **Endenergieverbrauch von Gewerbe, Handel,** Dienstleistungen **und übrige Verbraucher** (Zeile 67 der Energiebilanz) umfassen Brennstoffeinsätze zur Warmwasserbereitung, Raum- und Prozesswärmeerzeugung in diesem Sektor.

Für die vielfältigen Anforderungen der nationalen und internationalen Energie- und Emissionsberichterstattung reichen die Angaben der Energiebilanz nicht aus. So fasst die Energiebilanz Brennstoffeinsätze zusammen, die

- in Anlagen mit unterschiedlichen immissionsschutzrechtlichen Anforderungen eingesetzt werden (z.B. Großfeuerungsanlagen, mittelgroße Feuerungsanlagen, Kleinfeuerungsanlagen, Abfallverbrennungsanlagen)
- die nach unterschiedlichen technischen Prinzipien arbeiten (z.B. Dampfturbinenkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, Verbrennungsmotoranlagen)
- regionale Besonderheiten aufweisen (z.B. unterschiedliche Qualitäten der Rohbraunkohlen in den einzelnen Fördergebieten)
- bei der nationalen und internationalen Emissionsberichterstattung jeweils unterschiedlichen Kategorien zuzuordnen sind

- in verschiedenen Energiebilanzzeilen je nach ihrem Verwendungszweck (zur Strom- bzw. zur Wärmeerzeugung) angegeben, aber in einer Anlagengruppe (z.B. Dampfturbinenkraftwerke) eingesetzt werden.

Diese Charakteristika haben Auswirkungen auf das Emissionsverhalten. Um diesen verschiedenen Anforderungen Rechnung zu tragen, werden die Daten der Energiebilanz im Modell *Bilanz der Emissionsursachen* (BEU) unter Verwendung weiterer Statistiken sowie mit eigenen Rechnungen disaggregiert. Die folgende Abbildung 17 gibt eine Übersicht über die Struktur

Bilanz der Emissionsursachen (BEU)
Kategorien sind: • öffentliche Wärmekraftwerke, • Steinkohlenbergbau (bis 2013), • Braunkohlenbergbau, • Deutsche Bahn AG (bis 1999) • Mineralölverarbeitung, • Fernheizwerke, • übriger Umwandlungsbereich • Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe (weitere Untergliederung der Prozessfeuerungen), (Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher werden außerhalb des BEU-Modells direkt im ZSE bearbeitet)
Anlagenarten sind: • Dampfturbinenkraftwerke, • Gasturbinenkraftwerke, • Gas- und Dampfturbinenkraftwerke • Motorkraftwerke, • Kesselfeuerungen (ohne Kraftwerkskessel), • Prozessfeuerungen (untergliedert in 12 Prozesse).
Nach Energieträgern: • etwa 40 verschiedene Brennstoffe
Nach immissionsschutzrechtlichen Regelungen aufbereitet, wird unterschieden in: • Anlagen der 13. BImSchV, • Anlagen der 17. BImSchV, • Anlagen der 1. BImSchV, • Anlagen der TA Luft • Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen

Abkürzungen stehen für:

BImSchV	Rechtsverordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz,
TA-Luft	Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

Abbildung 17: Merkmale der UBA-Struktur der Bilanz der Emissionsursachen zur Disaggregierung der Energiebilanz

Ziel des BEU-Modells ist es, eine Datenstruktur bereitzustellen, die für die unterschiedlichen Berichtspflichten verwendet werden kann. Insbesondere die Ermittlung der Emissionen

klassischer Luftschadstoffe aber auch die Berechnung von Lachgas und Methanemissionen machte eine feinere Disaggregierung notwendig.

Trotz der Umstellung der Energiebilanz auf die Einteilung der Wirtschaftszweige nach der WZ 93 und einer geänderten Gruppierung der Energieträger vom Jahre 1995 an, ist es gelungen, die Daten auf die dargestellte Grundstruktur zurückzuführen, so dass konsistente Zeitreihen erarbeitet werden konnten. Bedingt durch den erneuten Umstieg der Wirtschaftszweigklassifikation in den Energie-Statistiken ab dem Jahr 2008 von „WZ 2003“ auf „WZ 2008“ wurde die Erfassung der Aktivitätsdaten für die Prozessfeuerungen aus den Einzelstatistiken entsprechend dem Umsteigeschlüssel realisiert und dokumentiert (Statistisches Bundesamt (2008): Umsteigeschlüssel WZ 2003 auf WZ 2008).

Die Struktur der Bilanz der Emissionsursachen (BEU) und ihre Merkmale wurde im Nationalen Inventarberichten 2011 in Abbildung 20 und tabellarisch in den Tabellen 16 bis 22 dargestellt und erläutert. Da es seither keine strukturellen Veränderungen gibt, sei hier auf diese Dokumentation verwiesen. Darin erfolgt die Zuordnung der Strukturelemente der BEU zur Datenbank des Zentralen Systems der Emissionen (ZSE) über eine eindeutige Namensvergabe.

Neben der bereits beschriebenen strukturellen Untergliederung werden zusätzlich die verschiedenen Brennstoffe in der Datenbank einzeln ausgewiesen. Die Brennstoffkategorien orientieren sich im Wesentlichen an der Energiebilanz. In einigen Fällen ist es nötig mit Hilfe der Energiestatistik und der Statistik der Kohlenwirtschaft, sowie einigen wenigen Verbandsstatistiken die Brennstoffe weiter zu untergliedern. Die verschiedenen Brennstoffqualitäten mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten werden, gemäß der Berichtsvorgaben in den 5 Kategorien: Gase, Flüssige Brennstoffe, feste Brennstoffe, Biomasse und sonstige Brennstoffe, zusammengefasst. Aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen Brennstoffe deren Anteile in den einzelnen Kategorien schwanken, kommt es häufig zu Änderungen der in den CRF-Tabellen ausgewiesenen impliziten Emissionsfaktoren.

Für die Ermittlung der Aktivitätsraten von Abfall in Müllverbrennungsanlagen und der Mitverbrennung in Feuerungsanlagen in den Sektoren Öffentliche Strom- und Wärmerzeugung (1.A.1) und verarbeitendes Gewerbe (1.A.2) hat das UBA im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes eine gründliche Auswertung der Brennstoffeinsätze der Energiestatistik 060 und 066 (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.7) und der Abfallstatistik (Statistisches Bundesamt, 2021a) des Statistischen Bundesamtes durchgeführt. Um alle Brennstoffmengen möglichst vollständig zu erfassen wurden die Abfallmengen beider Statistiken nach einzelnen Sektoren und Wirtschaftszweigen verglichen. Dafür ordnete man die Abfälle aus der Abfallstatistik den gleichen Brennstoffgruppen zu, wie sie in der Energiestatistik angegeben werden: in feste Biomasse, Klärschlamm, Haus- und Siedlungsabfälle und Industriemüll. Es hat sich gezeigt, dass in den letzten Jahren die erfassten Brennstoffmengen der Energiestatistik stetig angestiegen sind. Der Grund dafür ist u.a., dass immer mehr feste Biomasse (v.a. Alt- und Restholz) und aufbereitete Siedlungsabfälle zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Dennoch liegen die Abfallmengen der Energiestatistik in der Summe noch immer unter denen der Abfallstatistik. Demzufolge werden die Aktivitätsraten für Haus- und Industriemüll der Energiebilanz entnommen und um den Differenzbetrag zur Abfallstatistik ergänzt. Da das Altholz in der Energiebilanz nicht als Abfall sondern als feste Biomasse deklariert wird, muss es in der Abfallstatistik vom aufgeführten Einsatz in Müllverbrennungs- und Feuerungsanlagen abgezogen werden, um eine Doppelzählung zu vermeiden.

Hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung wird der fossile und biogene Anteil von Hausmüll/Siedlungsabfall seit dem NIR 2006 im Verhältnis 1:1 separat ausgewiesen. Dieser Split-Faktor wurde durch das veröffentlichte Forschungsvorhaben, „Nutzung der Potenziale des

biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung“ (Hoffmann et al. (2011); Förderkennzeichen 3707 33 303) bestätigt. Der biogene Anteil des Industriemülls variiert stark in Abhängigkeit der Industriebranche und Anlagenart. Dies führt u.a. dazu, dass im Sektor verarbeitendes Gewerbe (1.A.2) für die Wirtschaftszweige Eisen und Stahl, Papier, Zement- und Kalkindustrie ausführliche Datenerhebungen zu Ersatzbrennstoffen verwendet werden, die von den Verbänden Stahlinstitut (VDEh), Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP), Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie (BV Kalk) und vom Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) zur Verfügung gestellt werden. Der biogene Anteil des Industriemülls in den genannten Branchen stammt aus dem Forschungsprojekt „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer et al. (2006c), Förderkennzeichen 20442203/02).

3.2.1 Verifikation des sektoralen Ansatzes zu CRF 1.A

3.2.1.1 Vergleich mit dem CO_2-Referenzverfahren

Im Rahmen des internationalen Klimaschutzes ist die Berichterstattung zu den verbrennungsbedingten CO_2-Emissionen auf Grund des dominierenden Anteils an den Gesamtemissionen von größter Bedeutung. Von den Industrieländern wird hierzu ein sektorales Verfahren angewendet, das auf der Ebene der einzelnen Energieverbrauchssektoren ansetzt und daher differenzierte Aussagen zur Struktur der Emissionen erlaubt.

Zusätzlich zu den Ergebnissen dieses sogenannten Sektoralen Ansatzes (1.AA) werden die CO_2-Emissionen auch anhand eines Referenzverfahrens (1.AB) gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 2, Ch. 6: Reference Approach) ermittelt, der auf Primärdaten zu Produktion, Importen und Exporten von Brenn- und Kraftstoffen sowie Bestandsänderungen beruht, die unmittelbar den Nationalen Energiebilanzen entnommen werden.

Analog zum Sektoralen Ansatz wird von einer vollständigen Oxidation ausgegangen. In Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines entsprechen die verwendeten Kohlenstoff-Emissionsfaktoren denen des sektoralen Ansatzes und umfassen damit national referenzierte Werte. Die so berechneten CO_2-Emissionen werden zur Verifikation des Sektoralen Ansatzes verwendet.

Das Referenzverfahren wird für alle Jahre ab 1990 durchgeführt. Als Basis dienen jeweils die Angaben der Nationalen Energiebilanzen zum Primärenergieverbrauch. Für das Jahr 2020 war dabei zum Zeitpunkt der Inventarerstellung nur eine vorläufige Bilanz verfügbar.

Die Ergebnisse des Referenzverfahrens (1.AB) sind in Tabelle 16 sowie in Kapitel 20 im Anhang 4 dieses Berichtes zusammengestellt und werden in Abbildung 18 und Abbildung 19 mit weiteren verfügbaren Datensätzen verglichen.

3.2.1.2 Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren Datensätzen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der detaillierten sektoralen, sprich: Verursacher-genauen Berechnung der energiebedingten CO_2-Emissionen für Deutschland entsprechend den Vorgaben der *IPCC Guidelines* zur Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren nationalen und internationalen Datensätzen verglichen.

Konkret erfolgt eine Gegenüberstellung mit folgenden Datensätzen:

- International Energy Agency (IEA): *CO_2 emissions from fuel combustion*
  und

- Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen: CO_2-Bilanzen: *CO_2-Emissionen nach Energieträgern ohne internationalen Flugverkehr*[23]

In Tabelle 16 und Abbildung 18 werden die Ergebnisse der unterschiedlichen CO_2-Berechnungsansätze einander im zeitlichen Verlauf vergleichend gegenübergestellt. Die relevanten Entwicklungstrends werden in allen Berechnungsansätzen, inklusive dem Referenzverfahren – wenn auch auf unterschiedlichem Niveau – aufgezeigt. Um diese Niveauunterschiede zu veranschaulichen, werden in Abbildung 19 die relativen Abweichungen zwischen den verschiedenen Datensätzen dargestellt.

Insgesamt bestätigen diese Vergleiche die für Deutschland ermittelten CO_2-Emissionen deutlich. Die mit dem *sektoralen Ansatz* ermittelten energiebedingten nationalen Gesamtemissionen (siehe UBA (CRF 1.AA)) weichen im Mittel der betrachteten Jahre wie folgt von den Vergleichsdatensätzen ab:

- IEA: 2,6 %
- LAK Energiebilanzen: 0,8 %

[23] https://www.lak-energiebilanzen.de/eingabe-dynamisch/?a=c150

Tabelle 16: Vergleich der CO_2-Inventare mit anderen unabhängigen nationalen und internationalen Ergebnissen

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Sektoraler Ansatz UBA (CRF 1.AA)	**985,3**	**951,4**	**906,2**	**896,6**	**877,9**	**877,6**	**899,6**	**868,9**	**862,3**	**837,1**
IEA: CO_2 emissions from fuel combustion	**940,3**	**917,8**	**877,8**	**872,0**	**859,2**	**856,6**	**887,2**	**855,0**	**847,0**	**815,0**
Abweichung IEA von UBA (1.AA)	45,0	33,6	28,4	24,6	18,6	21,0	12,4	13,9	15,3	22,0
	4,8%	3,7%	3,2%	2,8%	2,2%	2,5%	1,4%	1,6%	1,8%	2,7%
LAK: energiebedingtes CO_2 Bundesländer	**965,7**	**945,9**	**903,1**	**896,4**	**873,6**	**877,1**	**896,4**	**870,2**	**867,5**	**840,0**
Abweichung von UBA (1.AA)	**19,6**	**5,5**	**3,1**	**0,2**	**4,3**	**0,5**	**3,2**	**-1,3**	**-5,2**	**-2,9**
	2,0%	0,6%	0,3%	0,0%	0,5%	0,1%	0,4%	-0,1%	-0,6%	-0,3%
	2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Sektoraler Ansatz UBA (CRF 1.AA)	**836,2**	**859,0**	**844,3**	**841,1**	**827,1**	**808,7**	**819,9**	**794,6**	**800,2**	**744,2**
IEA: CO_2 emissions from fuel combustion	**812,3**	**831,6**	**818,0**	**820,8**	**804,8**	**786,7**	**799,3**	**766,8**	**775,3**	**720,3**
Abweichung IEA von UBA (1.AA)	23,9	27,4	26,3	20,2	22,3	22,0	20,6	27,8	25,0	23,9
	2,9%	3,3%	3,2%	2,5%	2,8%	2,8%	2,6%	3,6%	3,2%	3,3%
LAK: energiebedingtes CO_2 Bundesländer	**841,3**	**865,5**	**843,9**	**839,4**	**829,0**	**816,1**	**821,4**	**800,5**	**805,1**	**753,1**
Abweichung von UBA (1.AA)	**-5,0**	**-6,5**	**0,4**	**1,7**	**-1,9**	**-7,4**	**-1,5**	**-5,9**	**-4,9**	**-8,9**
	-0,6%	-0,8%	0,0%	0,2%	-0,2%	-0,9%	-0,2%	-0,7%	-0,6%	-1,2%
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Sektoraler Ansatz UBA (CRF 1.AA)	**781,5**	**757,6**	**763,1**	**780,8**	**741,9**	**746,8**	**749,8**	**731,4**	**702,5**	**657,7**
IEA: CO_2 emissions from fuel combustion	**758,8**	**731,3**	**744,8**	**763,9**	**723,3**	**729,7**	**730,8**	**718,8**		
Abweichung IEA von UBA (1.AA)	22,7	26,3	18,3	16,9	18,6	17,1	19,0	12,6		
	3,0%	3,6%	2,5%	2,2%	2,6%	2,3%	2,6%	1,8%		
LAK: energiebedingtes CO_2 Bundesländer	**787,5**	**760,2**	**768,1**	**774,7**	**750,1**	**750,7**	**758,7**	**742,5**	**729,7**	**683,8**
Abweichung von UBA (1.AA)	**-6,1**	**-2,6**	**-5,0**	**6,1**	**-8,2**	**-3,9**	**-8,9**	**-11,1**	**-27,2**	**-26,2**
	-0,8%	-0,3%	-0,7%	0,8%	-1,1%	-0,5%	-1,2%	-1,5%	-3,7%	-3,8%

Quelle: CO_2 Emissions from Fuel Combustion (2022 Edition), IEA, Paris.

Abbildung 18: CO_2-Emissionen in Deutschland – Vergleich nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse

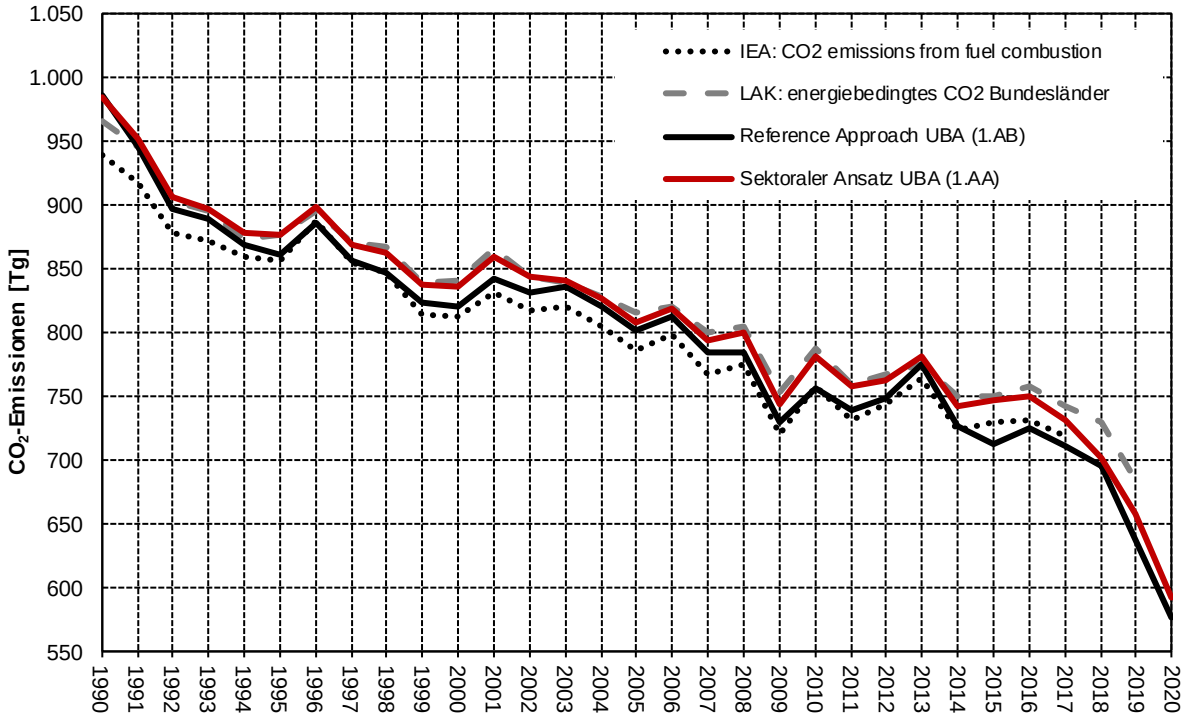
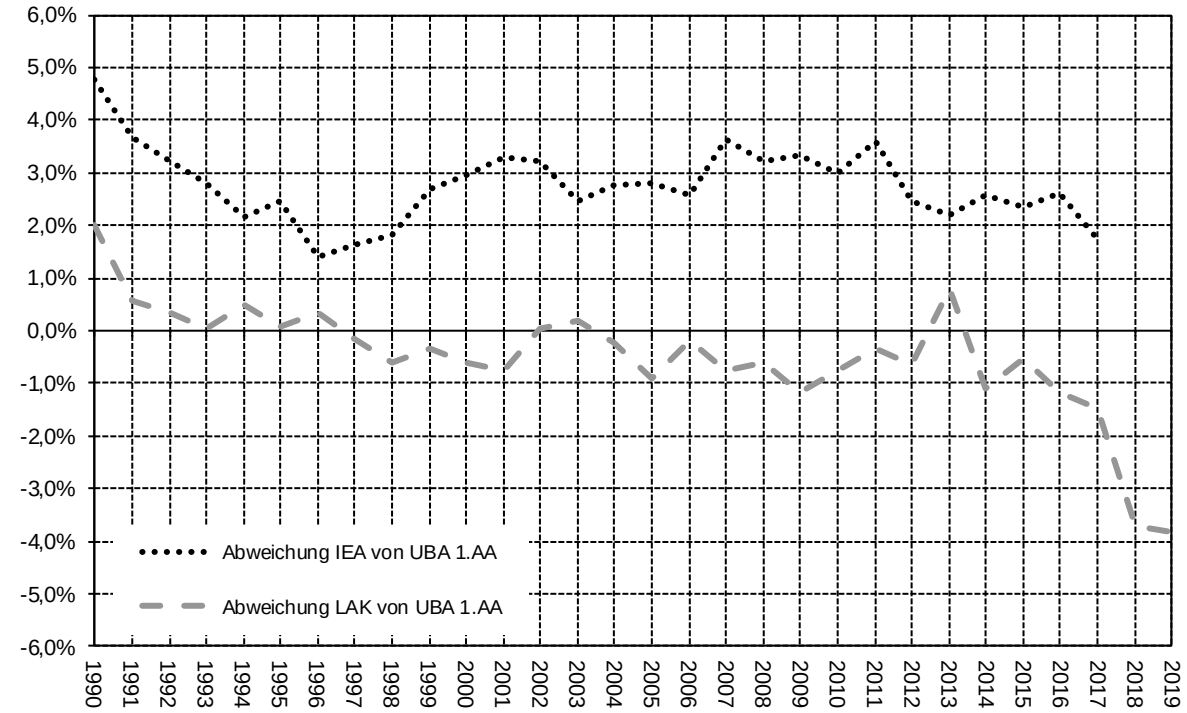


Abbildung 19: CO_2-Emissionen in Deutschland – Vergleich der relativen Abweichungen nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse



3.2.1.2.1 Vergleich mit den IEA-Ergebnissen

Die verwendeten Daten werden in jährlich aktualisierter Form international durch die IEA veröffentlicht (zuletzt: OECD/IEA, 2022). Da der Weg der Ermittlung, Aufbereitung und

Anwendung der verwendeten Basisdaten gegenwärtig jedoch nicht exakt mit dem nationalen Vorgehen in Deutschland vergleichbar ist und weitere methodische Informationen insbesondere zu den verwendeten detaillierten Daten fehlen, erfolgt dieser Vergleich vorerst nur aus Gründen der Vollständigkeit.

Trotz dieser methodischen Einschränkungen bestätigt der Vergleich die gemäß sektoralem Ansatz berechneten nationalen Emissionsmengen: Die mittlere Abweichung für aktuell 28 Jahre liegt bei 2,6 %. Die nationalen Vergleichsemissionen liegen dabei in allen Jahren höher als die von der IEA veröffentlichten Ergebnisse. Die Einzelabweichungen variieren im Bereich von -4,8 % (1990) bis -1,4 % (1996).

3.2.1.2.2 Vergleich mit den für die einzelnen Bundesländer ermittelten Daten

Durch die Bundesländer werden Angaben zu den jeweiligen CO_2-Emissionen veröffentlicht[24]. Zu den Verfahren, zuständigen und beteiligten Einrichtungen sowie den methodischen Beschreibungen wird auf den Internetauftritt bzw. auf die detailliertere Beschreibungen im NIR 2009 verwiesen.

Nachfolgend wird eine Gegenüberstellung der verfügbaren Länderergebnisse der Quellenbilanz mit den auf Bundesebene berechneten Inventaren für die energiebedingten CO_2-Emissionen durchgeführt. Erschwert wird der Vergleich dadurch, dass die verfügbaren Informationen für die einzelnen Bundesländer nicht immer in vollständigen Zeitreihen vorliegen. Die Füllung bestehender Fehlstellen erfolgte überwiegend durch Interpolation. Da aktuell nur für ein Bundesland Daten für 2020 verfügbar sind, wird der Vergleich auf den Zeitraum 1990 bis 2019 begrenzt.

[24] Landesarbeitskreis Energiebilanzen – CO_2-Bilanzen http://www.lak-energiebilanzen.de/co2-bilanzen/

Tabelle 17: Vergleich der Ergebnisse der CO_2-Berechnungen der einzelnen Bundesländer mit den Bundesinventaren

	1990	1991	1992	1993	1994 [Gg CO_2]	1995	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	74.305	78.779	78.059	78.821	74.144	77.844	81.331	78.233	79.635	77.045
Bayern	83.702	88.436	86.617	89.651	86.903	87.504	91.765	89.378	91.320	89.086
Berlin	26.529	27.605	24.761	26.099	25.130	24.188	24.361	23.315	22.543	23.269
Brandenburg	80.236	64.579	57.680	55.972	52.951	50.255	49.820	50.302	58.613	57.839
Bremen	13.381	13.497	12.812	12.417	13.244	13.194	14.220	14.164	13.846	12.794
Hamburg	12.165	13.861	12.558	13.215	12.730	12.774	13.850	13.274	13.065	12.855
Hessen	42.674	46.353	45.991	47.344	46.999	46.902	50.172	47.191	47.060	43.868
Mecklenburg-Vorpommern	15.539	10.757	9.360	9.473	9.510	10.233	11.636	10.654	10.413	10.627
Niedersachsen	76.596	81.734	80.435	79.137	77.780	77.856	77.932	78.759	79.587	76.428
Nordrhein-Westfalen	295.817	306.937	303.414	297.191	292.504	298.991	306.810	300.958	298.973	286.514
Rheinland-Pfalz	27.453	29.513	28.999	30.330	30.363	31.579	31.598	30.602	31.266	30.408
Saarland	23.680	25.750	24.378	23.194	24.289	23.109	23.829	21.802	23.769	22.800
Sachsen	92.188	76.967	63.952	65.921	62.912	61.362	56.435	51.040	37.073	35.045
Sachsen-Anhalt	49.522	35.226	31.172	26.901	25.715	24.865	25.250	24.538	24.735	26.566
Schleswig-Holstein	24.412	24.028	24.298	24.817	24.461	23.254	23.779	23.190	22.935	22.406
Thüringen	27.483	21.868	18.566	15.894	13.925	13.203	13.633	12.831	12.708	12.429
Summe Länder	**965.683**	**945.889**	**903.052**	**896.376**	**873.560**	**877.114**	**896.420**	**870.231**	**867.542**	**839.981**
Bund (Sektoral Ansatz - CRF 1.AA)	985.253	951.431	906.169	896.565	877.859	877.638	899.598	868.933	862.342	837.074
Differenz Länder- zu Bundesergebnis	**-19.569**	**-5.542**	**-3.117**	**-188**	**-4.299**	**-524**	**-3.178**	**1.298**	**5.201**	**2.906**
	-2,0%	**-0,6%**	**-0,3%**	**0,0%**	**-0,5%**	**-0,1%**	**-0,4%**	**0,1%**	**0,6%**	**0,3%**

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
					[Gg CO_2]					
Baden-Württemberg	74.176	79.606	76.299	75.895	74.989	77.135	77.931	70.610	72.394	66.223
Bayern	87.025	88.905	82.905	81.610	80.325	77.523	78.620	71.679	76.580	73.597
Berlin	23.159	23.504	20.700	20.688	19.615	19.390	19.242	16.755	17.710	17.235
Brandenburg	60.475	60.773	61.470	58.184	58.900	59.585	57.887	58.458	57.289	53.859
Bremen	14.071	14.151	14.013	14.666	13.071	12.265	12.755	13.691	13.111	12.665
Hamburg	12.646	12.437	12.227	12.062	11.993	11.569	11.579	11.062	11.169	11.296
Hessen	44.479	46.524	43.585	43.965	43.132	42.255	41.462	38.819	39.259	37.743
Mecklenburg-Vorpommern	10.256	10.718	10.908	10.696	10.906	10.354	11.133	10.044	10.835	9.515
Niedersachsen	73.270	72.284	71.298	70.619	69.939	70.170	70.401	69.756	69.111	65.853
Nordrhein-Westfalen	288.054	292.950	289.727	290.207	288.485	279.276	283.305	287.458	284.570	257.694
Rheinland-Pfalz	28.946	29.659	27.946	26.694	26.153	26.080	26.786	25.876	27.476	26.330
Saarland	23.409	23.213	22.914	23.232	23.900	24.776	23.555	25.697	22.947	18.498
Sachsen	41.508	48.838	49.003	49.604	48.435	47.311	48.493	46.827	46.105	46.883
Sachsen-Anhalt	25.857	26.463	27.039	27.554	26.591	27.275	27.205	25.890	26.843	26.662
Schleswig-Holstein	21.906	23.185	21.866	21.802	20.780	19.720	19.747	17.468	18.829	18.547
Thüringen	12.016	12.308	12.033	11.885	11.793	11.446	11.265	10.418	10.894	10.514
Summe Länder	**841.253**	**865.519**	**843.934**	**839.361**	**829.007**	**816.131**	**821.365**	**800.511**	**805.122**	**753.115**
Bund (Sektoral Ansatz - CRF 1.AA)	836.208	858.980	844.301	841.061	827.085	808.723	819.850	794.600	800.218	744.232
Differenz Länder- zu Bundesergebnis	**5.045**	**6.539**	**-367**	**-1.700**	**1.922**	**7.408**	**1.514**	**5.911**	**4.905**	**8.883**
	0,6%	**0,8%**	**0,0%**	**-0,2%**	**0,2%**	**0,9%**	**0,2%**	**0,7%**	**0,6%**	**1,2%**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
					[Gg CO_2]					
Baden-Württemberg	67.831	66.069	65.357	70.525	65.420	66.786	68.670	69.201	65.488	62.706
Bayern	76.684	74.860	74.910	75.540	71.185	72.223	73.674	73.491	72.277	73.584
Berlin	18.897	16.565	16.660	17.231	16.310	15.700	16.016	15.752	14.511	13.675
Brandenburg	56.478	56.215	57.744	57.220	56.004	56.077	56.317	55.841	56.351	48.844
Bremen	14.037	13.153	13.359	13.412	12.793	13.281	12.959	13.340	12.415	11.443
Hamburg	11.625	10.947	10.810	10.595	11.629	14.605	15.162	15.594	16.194	14.631
Hessen	38.562	36.764	36.819	36.521	33.896	35.569	36.990	36.011	34.240	34.179
Mecklenburg-Vorpommern	10.939	10.346	10.987	10.429	10.365	10.255	10.646	9.784	9.161	*9.161*
Niedersachsen	67.803	66.491	64.181	64.964	66.223	65.593	65.258	64.040	62.973	60.149
Nordrhein-Westfalen	273.556	262.903	266.944	263.294	258.132	253.148	254.266	238.477	233.771	209.843
Rheinland-Pfalz	27.313	25.330	25.602	26.782	25.329	25.847	26.338	26.629	25.942	26.683
Saarland	19.287	20.898	21.753	22.991	20.864	21.638	*21.638*	*21.638*	*21.638*	*21.638*
Sachsen	47.129	44.930	46.995	49.620	49.392	47.681	48.011	49.775	49.553	46.183
Sachsen-Anhalt	27.287	27.144	27.625	26.999	25.509	25.125	25.403	25.383	26.894	24.056
Schleswig-Holstein	19.357	17.506	18.027	18.097	17.179	17.238	17.097	17.168	17.733	16.683
Thüringen	10.749	10.078	10.361	10.495	9.878	9.922	10.278	10.375	10.543	10.388
Summe Länder	**787.535**	**760.198**	**768.133**	**774.716**	**750.107**	**750.688**	**758.721**	**742.498**	**729.684**	**683.845**
Bund (Sektoral Ansatz - CRF 1.AA)	781.485	757.628	763.103	780.791	741.946	746.783	749.812	731.410	702.521	657.691
Differenz Länder- zu Bundesergebnis	**6.050**	**2.570**	**5.030**	**-6.075**	**8.162**	**3.905**	**8.909**	**11.089**	**27.163**	**26.154**
	0,8%	**0,3%**	**0,7%**	**-0,8%**	**1,1%**	**0,5%**	**1,2%**	**1,5%**	**3,7%**	**3,8%**

Anm.: Zahlen in kursiv und grau hinterlegt sind nicht Teil konsistenter Zeitreihen und wurden durch Verfahren zur Lückenschließung bzw. Extrapolation auf Basis einer Expertenschätzung generiert (s. Text).

Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen (Stand: 25.03.2022)

Der Vergleich zeigt einer sehr gute Übereinstimmung der zusammengefassten Länderergebnisse mit dem Bundesinventar: Im Durchschnitt der 30 verglichenen Jahre wichen die CO_2-Emissionen der Bundesländer um 0,8 % vom Bundesergebnis ab und lagen dabei maximal 2% unter (1990) bzw. 3,8 % über (2019) den bundesdeutschen Gesamtmengen.

3.2.1.2.3 Geplante Verbesserungen

Die Vergleichsergebnisse werden im Anschluss an die Berichterstattung regelmäßig mit den Vertretern des Länderarbeitskreises Energiebilanzen diskutiert und hinsichtlich weiterer Verbesserungsmöglichkeiten geprüft. Gegenwärtig bestehen keine weiteren konkreten Verbesserungspläne.

3.2.2 Internationale Bunkerbrennstoffe

3.2.2.1 Emissionen aus dem internationalen Verkehr (1.D.1.a/1.D.1.b)

Der internationale Verkehr gliedert sich in den internationalen zivilen Luftverkehr (1.D.1.a) und den internationalen Seeverkehr (1.D.1.b).

3.2.2.2 Emissionen aus dem internationalen Flugverkehr (1.D.1.a)

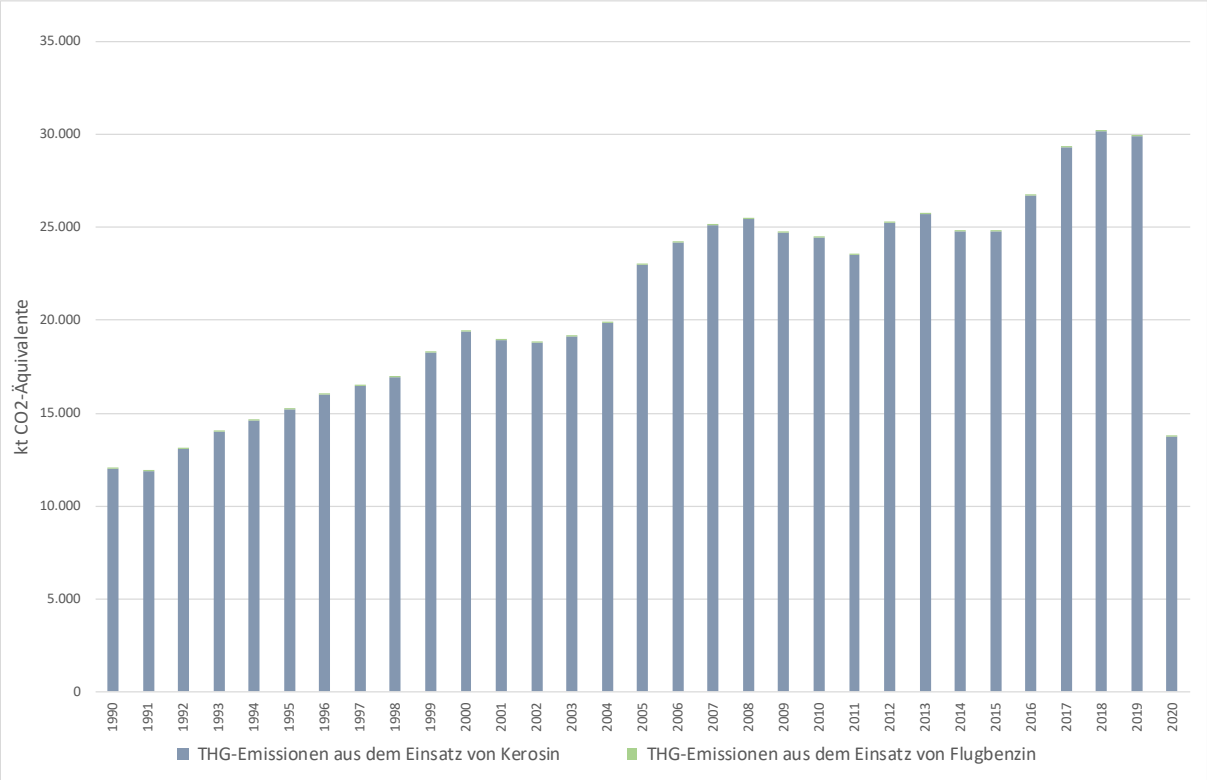
3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.a)

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS / D [a]
CH_4	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS (M)
N_2O	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS (M)
NO_x, CO, NMVOC	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS (M)
SO_2	Tier 1	NS/IS/M	CS

[a] mitverbrannte Schmierstoffe

Die Emissionen aus dem Verbrauch von Kraftstoffen für den internationalen Luftverkehr sind in der Inventarberechnung berücksichtigt, werden jedoch nicht als Bestandteil der nationalen Gesamtinventare berichtet und sind damit auch nicht Teil der Hauptkategorienanalyse.

Abbildung 20: Treibhausgasemissionen des von Deutschland ausgehenden internationalen Flugverkehrs seit 1990



3.2.2.2.2 Methodische Aspekte (1.D.1.a)

Da anhand der deutschen Energiestatistiken eine Aufteilung der jährlichen Kraftstoffmengen auf internationalen und innerdeutschen Flugverkehr nicht verfügbar ist, erfolgt diese nachträglich anhand des jährlichen Anteils des nationalen Flugverkehrs am Gesamt-Treibstoffeinsatz, der innerhalb von TREMOD AV (Knörr et al., 2021a) berechnet wird.

Die so ermittelten Anteile des internationalen Flugverkehrs an den in AGEB (2021b) bzw. in den vom Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle veröffentlichten Amtlichen Mineralöldaten (BAFA, 2021) ausgewiesenen Treibstoffmengen stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 18: jährliche Anteile der Auslandsflüge an den Kerosin- und Flugbenzin-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kerosin	83,9	87,9	88,2	90,3	91,4	91,8	92,1	92,7	92,7	92,7	92,8	93,2	93,3	93,1	93,0
Flugbenzin	21,0	19,1	20,3	22,0	22,7	17,8	18,2	18,1	16,7	18,5	9,44	9,61	8,88	7,88	6,28

Quelle: TREMOD AV (Knörr et al., 2021a)

Weitere Angaben zu den verwendeten Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren finden sich in Kapitel 3.2.10.1 zum nationalen zivilen Flugverkehr.

Zudem werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe und die daraus resultierenden CO_2-Emissionen erfasst und berichtet. Gemäß Wallfarth (2014) wird dabei davon ausgegangen, dass die Menge mitverbrannter Schmierstoffe 0,01 % der eingesetzten Kraftstoffmenge entspricht (siehe Anhang-Kapitel 19.1.4).

3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.a)

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.10.1.3.

3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.a)

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.10.1.4.

3.2.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.D.1.a)

Gegenüber Submission 2021 erfolgten Rückrechnungen für sämtliche betrachteten Jahre insbesondere aufgrund geänderter Anteile des für Auslandsflüge eingesetzten Flugbenzins am inländischen Gesamtabatz.

Tabelle 19: revidierte jährliche Anteile an den Flugbenzin-Inlandsablieferungen, in Prozent

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	21,0	19,1	20,3	22,0	22,7	18,5	9,44	9,61	8,88	7,88
Submission 2021	20,1	16,0	17,4	16,2	16,9	13,3	6,90	7,12	6,42	5,35
Änderung absolut	0,87	3,14	2,94	5,81	5,80	5,14	2,54	2,49	2,47	2,53
Änderung relativ	4,3%	19,7%	16,9%	35,8%	34,4%	38,5%	36,9%	35,0%	38,5%	47,3%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Gleichzeitig kam es zu einer marginalen Änderung des Anteiles des für Auslandsflüge eingesetzten Kerosins am Gesamtabatz 2019.

Die resultierende Änderung des Treibstoffeinsatzes stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 20: revidierte Treibstoffmengen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Flugturbinentreibstoff / Kerosin										
Submission 2022	162.259	205.197	262.146	310.569	330.659	335.097	361.113	396.137	407.774	404.342
Submission 2021	162.259	205.197	262.146	310.569	330.659	335.097	361.113	396.137	407.774	404.499
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-157
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%
Flugbenzin										
Submission 2022	511	218	228	154	129	102	38,4	38,7	34,6	25,1
Submission 2021	490	182	195	113	95,8	73,8	28,1	28,7	25,0	17,1
Änderung absolut	21,3	35,9	32,9	40,6	32,9	28,4	10,4	10,0	9,60	8,07
Änderung relativ	4,3%	19,7%	16,9%	35,8%	34,4%	38,5%	36,9%	35,0%	38,5%	47,3%
GESAMT-TREIBSTOFFEINSATZ										
Submission 2022	162.770	205.415	262.373	310.723	330.788	335.200	361.152	396.176	407.809	404.367
Submission 2021	162.749	205.379	262.340	310.682	330.755	335.171	361.141	396.166	407.799	404.516
Änderung absolut	21,3	35,9	32,9	40,6	32,9	28,4	10,4	10,0	9,60	-149
Änderung relativ	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Diese Veränderungen führten zu wie folgt veränderten Treibhausgas-Emissionen:

Tabelle 21: revidierte THG-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid - CO_2 [a]										
Submission 2022	11.922	15.047	19.220	22.762	24.232	24.555	26.456	29.022	29.874	29.622
Submission 2021	11.921	15.045	19.217	22.759	24.229	24.553	26.456	29.021	29.874	29.633
Änderung absolut	1,49	2,51	2,30	2,84	2,30	1,99	0,73	0,70	0,67	-11,0
Änderung relativ	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%
Methan - CH_4										
Submission 2022	0,200	0,145	0,139	0,143	0,139	0,139	0,149	0,168	0,179	0,162
Submission 2021	0,201	0,147	0,140	0,145	0,141	0,141	0,150	0,169	0,180	0,172
Änderung absolut	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,010
Änderung relativ	-0,49%	-1,16%	-1,14%	-1,33%	-1,20%	-1,07%	-0,78%	-0,74%	-0,77%	-5,96%
Lachgas - N_2O										
Submission 2022	0,38	0,47	0,61	0,72	0,77	0,78	0,84	0,92	0,95	0,94
Submission 2021	0,38	0,47	0,61	0,72	0,77	0,78	0,84	0,92	0,95	0,94
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änderung relativ	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,05%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]										
Submission 2022	12.040	15.192	19.403	22.980	24.464	24.790	26.710	29.300	30.160	29.906
Submission 2021	12.038	15.190	19.401	22.977	24.461	24.788	26.709	29.299	30.160	29.917
Änderung absolut	1,48	2,50	2,29	2,82	2,28	1,97	0,70	0,68	0,64	-11,3
Änderung relativ	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] ohne CO_2 aus der Schmierstoff-Mitverbrennung

3.2.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.a)

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.10.1.6.

3.2.2.3 Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr/ Marine (1.D.1.b)

3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.b)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	D [a] / CS
CH_4	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
N_2O	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)

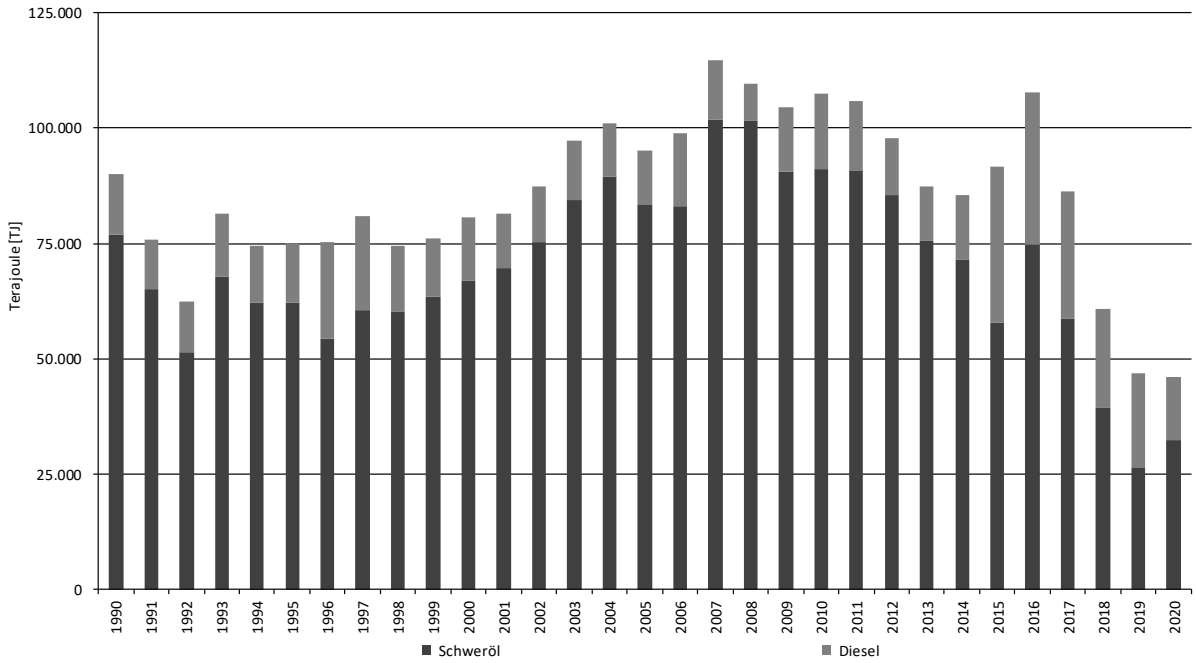
[a] mitverbrannte Schmierstoffe

Die durch den von deutschen Seehäfen ausgehenden internationalen Seeverkehr verursachten Emissionen werden nicht als Bestandteil der nationalen Gesamtinventare berichtet und sind nicht Teil der Hauptkategorienanalyse.

Seit 1984 steigt der Schwerölverbrauch infolge hoher Mineralölpreise für Dieselkraftstoffe sowie des weltweit wachsenden Seeverkehrs und des zunehmenden Einsatzes schwerölfähiger Dieselmotoren.

Die abgesetzten Kraftstoffmengen und die aus deren Verbrennung resultierenden Emissionen unterliegen starken jährlichen Schwankungen. Dies kann zum Beispiel mit Preisunterschieden bei den Kraftstoffkosten zwischen Seehäfen erklärt werden: da Seeschiffe nicht bei jedem Hafenaufenthalt Kraftstoff bunkern müssen, können hohe Kraftstoffkosten vermieden werden. Darüber hinaus werden die Absätze durch Lagerhaltung in den Häfen beeinflusst.

Abbildung 21: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des internationalen Seeverkehrs seit 1990 [a]



3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.D.1.b)

Deutschland berichtet gemäß Tier 1, das heißt, die Emissionen werden als Produkt aus den in Deutschland verkauften Kraftstoffen und landesspezifischen Emissionsfaktoren für CO_2 sowie Default-Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O berechnet.

Die **Aktivitätsraten** seegehender Schiffe stammen grundsätzlich aus den Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland (AGEB, 2021b), in denen aufgrund abweichender Besteuerung in Energiebilanzzeile 6 (EBZ 6) Hochseebunkerungen IMO-registrierter Seeschiffe gesondert ausgewiesen werden.

Für Jahre, für die eine Energiebilanz nicht rechtzeitig vorliegt, wird auf die „Amtlichen Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland" des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle zurückgegriffen (BAFA (2021): hier Tabelle 6j, Spalte: „Bunker int. Schifffahrt"), die in die Nationalen Energiebilanzen einfließen.

Die in diesen statistisch erfassten Mengen enthaltenen Bunkerungen national verkehrender Seeschiffe (Fracht und Passagiere (1.A.3.d), Fischerei (1.A.4.c iii) und Militär (1.A.5.b iii)) werden grundsätzlich gemäß Deichnik (2021) gesondert berechnet und von den in EBZ 6 geführten Gesamtmengen abgezogen. Die sich ergebende Restmenge wird dem von Deutschland ausgehenden internationalen Seeverkehr zugeordnet.

Der zwischen 2014 und 2015 zu beobachtende starke Anstieg der eingesetzten Dieselmengen von rund 15% auf über 30% der gesamten Kraftstoffmenge resultiert dabei aus dem de-facto-Verbot von Schweröl in den sogenannten SECAs *(Sulphur Emission Control Areas)*, zu denen Nord- und Ostsee zählen, infolge des Inkrafttretens deutlich strengerer Grenzwerte für den Schwefelgehalt der Schiffskraftstoffe.[25]

[25] seit 01.Januar 2015: 0,10 % anstelle bisher 1,00 % (https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx)

Zudem werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe und die daraus resultierenden CO_2-Emissionen berichtet. Diese werden auf Grundlage der abgesetzten Kraftstoffmengen berechnet. Gemäß Wallfarth (2014) wird dabei davon ausgegangen, dass die Menge mitverbrannter Schmierstoffe 0,15 % der eingesetzten Kraftstoffmenge entspricht (siehe Anhang-Kapitel 19.1.4).

Bezüglich der **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Für die Berechnung der Methan- und Lachgas-Emissionen wird auf die für den nationalen Seeverkehr verwendeten Emissionsfaktoren aus Deichnik (2021) zurückgegriffen.

Hinsichtlich der Mitverbrennung von Schmierstoffen wird dagegen davon ausgegangen, dass die anfallenden N_2O- und CH_4-Emissionen bereits in den Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe abgebildet und daher hier als IE *(included elsewhere)* zu berichten sind.

3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.b)

Siehe Kapitel 3.2.10.4.3.

3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.b)

Siehe Kapitel 3.2.10.4.4.

3.2.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnung (1.D.1.b)

Gegenüber Submission 2021 erfolgen Rückrechnungen aufgrund einer grundlegenden und alle Jahre umfassenden Revision seitens der nationalen Seeverkehre. (siehe Kapitel 3.2.10.4.5)

Tabelle 22: revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Dieselkraftstoff										
Submission 2022	13.162	13.096	13.709	11.820	16.417	33.958	32.832	27.463	21.473	20.231
Submission 2021	12.748	12.919	13.664	11.993	16.662	33.088	28.093	22.924	15.213	18.327
Änderung absolut	413	176	44,9	-173	-246	870	4.738	4.538	6.260	1.904
Änderung relativ	3,24%	1,36%	0,33%	-1,44%	-1,48%	2,63%	16,9%	19,8%	41,1%	10,4%
Schweröl										
Submission 2022	76.942	62.066	67.080	83.224	91.169	57.792	74.807	58.707	39.308	26.565
Submission 2021	68.484	56.323	60.984	78.182	86.934	57.850	74.837	58.781	39.380	26.601
Änderung absolut	8.458	5.743	6.096	5.042	4.236	-57,9	-30,0	-74,1	-71,7	-35,9
Änderung relativ	12,35%	10,20%	10,00%	6,45%	4,87%	-0,10%	-0,04%	-0,13%	-0,18%	-0,14%
GESAMT-ENERGIEEINSATZ										
Submission 2022	90.239	75.275	80.910	95.187	107.747	91.888	107.800	86.299	60.872	46.866
Submission 2021	81.354	69.346	74.760	90.310	103.751	91.075	103.085	81.828	54.674	44.995
Änderung absolut	8.885	5.929	6.150	4.877	3.996	813	4.715	4.471	6.197	1.871
Änderung relativ	10,9%	8,55%	8,23%	5,40%	3,85%	0,89%	4,57%	5,46%	11,3%	4,16%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf AGEB (2021b), Deichnik (2021) und Knörr et al. (2021c)

Gleichzeitig erfolgte eine Revision der modellierten Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas. (siehe 3.2.10.4.4)

Tabelle 23: revidierte Treibhausgas-Emissionen 2018, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Dieselkraftstoff: CH_4										
Submission 2022	0,969	0,969	0,969	0,969	0,969	0,888	0,878	0,884	0,875	0,880
Submission 2021	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,895	0,893	0,900	0,904	0,963
Änderung absolut	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,007	-0,016	-0,015	-0,028	-0,083
Änderung relativ	-0,50%	-0,55%	-0,54%	-0,53%	-0,56%	-0,79%	-1,78%	-1,70%	-3,14%	-8,58%
Dieselkraftstoff: N_2O										
Submission 2022	3,313	3,313	3,313	3,313	3,313	3,341	3,340	3,341	3,351	3,350
Submission 2021	3,314	3,314	3,314	3,314	3,314	3,366	3,355	3,357	3,353	3,346
Änderung absolut	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,025	-0,016	-0,016	-0,002	0,004
Änderung relativ	-0,02%	-0,02%	-0,02%	-0,02%	-0,02%	-0,74%	-0,46%	-0,48%	-0,07%	0,12%
Schweröl: CH_4										
Submission 2022	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,52	0,60	0,67	0,65	0,65
Submission 2021	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,60	0,74	0,61	0,57	0,65
Änderung absolut	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	-0,08	-0,13	0,07	0,08	0,00
Änderung relativ	17,3%	17,0%	17,1%	17,1%	16,9%	-13,0%	-17,7%	11,0%	14,8%	0,75%
Schweröl: N_2O										
Submission 2022	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,52	3,50	3,52	3,53	3,54
Submission 2021	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,45	3,39	3,49	3,59	3,55
Änderung absolut	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,07	0,11	0,03	-0,06	-0,01
Änderung relativ	-1,48%	-1,46%	-1,47%	-1,47%	-1,46%	1,91%	3,28%	0,98%	-1,78%	-0,18%

Aus den revidierten Eingangsdaten resultieren die im Folgenden dargestellten neu berechneten Emissionsmengen.

Tabelle 24: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid [a]										
Submission 2022	7.111	5.919	6.365	7.497	8.482	7.188	8.537	6.778	4.730	3.607
Submission 2021	6.405	5.448	5.875	7.108	8.162	7.128	8.188	6.448	4.272	3.469
Änderung absolut	705	471	490	388	319	59,7	348	330	458	138
Änderung relativ	11,0%	8,65%	8,33%	5,46%	3,91%	0,84%	4,25%	5,12%	10,7%	3,98%
Methan										
Submission 2022	0,079	0,066	0,071	0,083	0,094	0,060	0,074	0,064	0,044	0,035
Submission 2021	0,063	0,054	0,058	0,069	0,080	0,064	0,080	0,056	0,036	0,035
Änderung absolut	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,00
Änderung relativ	26,0%	22,3%	22,1%	20,2%	17,6%	-6,22%	-7,58%	13,4%	23,0%	0,76%
Lachgas										
Submission 2022	0,079	0,066	0,071	0,083	0,094	0,060	0,074	0,064	0,044	0,035
Submission 2021	0,063	0,054	0,058	0,069	0,080	0,064	0,080	0,056	0,036	0,035
Änderung absolut	0,016	0,012	0,013	0,014	0,014	-0,004	-0,006	0,008	0,008	0,000
Änderung relativ	9,57%	7,29%	6,97%	4,08%	2,60%	1,83%	6,78%	5,87%	9,45%	3,95%
GESAMT-**TREIBHAUSGASE** [a]										
Submission 2022	7.205	5.998	6.449	7.596	8.594	7.284	8.649	6.869	4.794	3.656
Submission 2021	6.491	5.521	5.954	7.204	8.272	7.222	8.294	6.534	4.331	3.516
Änderung absolut	714	477	495	393	323	61,3	355	335	463	140
Änderung relativ	11,0%	8,63%	8,32%	5,45%	3,90%	0,85%	4,28%	5,13%	10,7%	3,98%

[a] ohne CO_2 aus der Schmierstoff-Mitverbrennung; Quelle: eigene Berechnungen

3.2.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.b)

Derzeit sind keine über die routinemäßige Revision des verwendeten Rechenmodells hinausgehenden Verbesserungen geplant.

3.2.3 Lagerhaltung

Diese Emissionen werden im Rahmen des CO_2-Referenz-Verfahrens berücksichtigt.

3.2.4 CO_2-Abscheidung von Abgasen und nachfolgende Speicherung (CCS) (CRF 1.C)

Nach Rückmeldung des Betreibers der einzigen hierzulande existierenden Pilotanlage wurden zu Versuchszwecken bisher ca. 67 kt CO_2 verpresst (GFZ, 2018). Die messtechnische Überwachung der Anlage hat seitdem keine Undichtigkeiten nachgewiesen. Um dennoch konservativ zu berichten, wurden die eingespeicherten Mengen im deutschen Inventar nicht abgezogen. Mögliche Entweichungen sind daher bereits berücksichtigt.

Nach Empfehlungen im In-Country-Review 2016 wird aktuell der Notation Key *NO* verwendet.

3.2.5 Landesspezifische Besonderheiten

Es liegen keine die Berichterstattung beeinflussenden Besonderheiten vor.

3.2.6 Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a)

3.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production**	**fossil fuels**	**CO2**	**338.451,2**	**26,6%**	**180.749,0**	**25,2%**	**-46,6%**
-/-	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N2O	2.407,5	0,2%	1.596,4	0,2%	-33,7%
L/T	**1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production**		**CH4**	**172,2**	**0,0%**	**2.211,8**	**0,3%**	**1184,7%**

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie der *Öffentlichen Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung* ist für CO_2- und CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

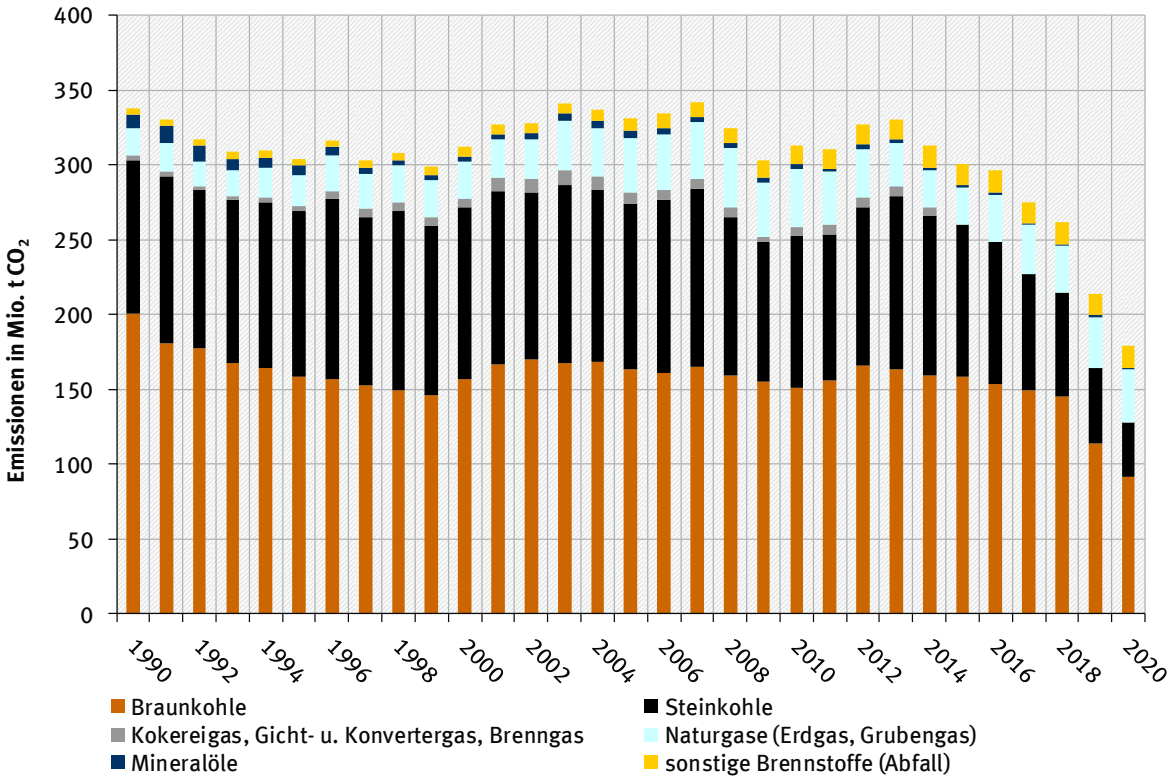
Unter der Kategorie 1.A.1.a „Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“ sind im ZSE die Fernheizwerke und die Strom- und Wärmeerzeugung der öffentlichen Kraftwerke zusammengefasst. Anlagen, die den aus Biomasse erzeugten Strom in das öffentliche Netz einspeisen werden ebenfalls der Kategorie 1.A.1.a zugeordnet.

In der öffentlichen Elektrizitätserzeugung war Ende 2020 eine Netto-Nennleistung von ca. 84 GW installiert. Davon wurden ca. 77 GW mit fossilen Energieträgern oder deren Umwandlungsprodukten betrieben. Die gesamte öffentliche Stromerzeugung belief sich auf 289 TWh. Dabei entfiel auf die Brennstoffe Braun- und Steinkohle die Erzeugung von ca.128 TWh Strom.

Heizkraftwerke trugen im Jahr 2020 zur öffentlichen Versorgung mit einer Nettostromerzeugung von etwa 46 TWh und einer Nettowärmeerzeugung von 99 TWh bei. Ergänzt wird die Fernwärmeversorgung durch ungekoppelte Wärmeerzeugung aus Heizwerken, die meist im Spitzenlastbetrieb betrieben werden (Statistisches Bundesamt, 2021d).

Die folgende Graphik zeigt eine Übersicht über die Entwicklung der CO_2-Emissionen in der Kategorie 1.A.1.a:

Abbildung 22: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.a



Insgesamt weisen die Emissionen bis 1999 einen fallenden Trend auf, was im Wesentlichen auf die Schließung vieler braunkohlebefeuerter Anlagen in den neuen Bundesländern zurückzuführen ist. Danach wurden einige Anlagen wieder ersetzt, so dass ab dem Jahr 2000 die neu installierte Leistung von Braunkohlenkraftwerken die der vom Netz genommenen überstieg, was wieder zu steigenden Emissionen führte. Auch im Jahr 2012 gingen noch einige neue Kraftwerksblöcke ans Netz, was zu einem erneuten Anstieg der Emissionen aus Braunkohle führte. Danach gingen die Emissionen aufgrund von Anlagenschließungen zurück. Über die gesamte Zeitreihe betrachtet bleiben die Emissionen aus Braunkohleverstromung deutlich unter dem Niveau von 1990.

Der Emissionstrend wird im Wesentlichen von der Entwicklung und der Struktur der Stromerzeugungsanlagen geprägt, da diese den Hauptteil der Emissionen ausmachen. Von 1990 bis zum Jahr 1993 sinkt der Stromverbrauch, bedingt durch den Zusammenbruch der Industrie in den neuen Bundesländern. Ab 1994 bis zum Jahr 2007 kommt es zu einer deutlichen Erhöhung des Stromverbrauches in allen Sektoren, was eine Erhöhung der Stromproduktion nach sich zieht. Dadurch steigen auch die Emissionen aus der Stromproduktion. Hinzu kommen steigende Stromexporte, die sich ab 2003 im Saldo bemerkbar machen. Der steigende Trend bis 2007 in dem, aufgrund niedriger Zertifikatspreise besonders viel Kohle zur Stromerzeugung eingesetzt wurde, wird 2008 zwischenzeitlich deutlich gesenkt, was auf einen erhöhten Einsatz von Kernkraft, Erdgas und erneuerbaren Energieträgern zurückzuführen ist. In 2009 zeigt sich deutlich auch in der öffentlichen Energieversorgung der Einfluss der Finanz- u. Wirtschaftskrise. Bereits im Jahr 2010 steigen die Emissionen aufgrund der wirtschaftlichen Erholung wieder an. Über die Zeitreihe betrachtet weisen die Steinkohlekraftwerke stärkere Schwankungen beim Brennstoffeinsatz auf, da sie im Gegensatz zur Braunkohle meist im Mittellastbereich gefahren werden und damit deutlicher auf Nachfrageschwankungen reagieren und zum anderen abhängig von Importpreisen sind. Außerdem kam es vor allem ab Mitte der 90er Jahre zu Sektorverschiebungen von der Industrie (1.A.1.c und 1.A.2.g) zur öffentlichen Versorgung (1.A.1.a), da Betreiber vermehrt zur öffentlichen Versorgung meldeten. Im Jahr 2012 sorgt die

Ummeldung eines weiteren größeren Unternehmens vom Steinkohlenbergbau (1.A.1.c) zur öffentlichen Versorgung (1.A.1.a), zu einer deutlichen Verschiebung von Emissionen zwischen den beiden Sektoren. Eine weitere Begründung für den Anstieg der Emissionen aus Steinkohlekraftwerken in der Quellgruppe 1.A.1.a waren die seit dem Jahr 2012 deutlich gefallenen Weltmarktpreise für Steinkohle. Der gleichzeitige Anstieg der Erdgaspreise führte letztlich zu einer Verschiebung des Brennstoffmixes zu Gunsten der Steinkohle. Im Jahr 2016 kehrte sich dieser Effekt hinsichtlich der Preisrelation und des Brennstoffeinsatzes um. Die Mineralöle spielen für die deutsche Stromversorgung nur eine untergeordnete Rolle. Sie werden überwiegend zur Hilfs- und Stützfeuerung in Kohle- und Müllheizkraftwerken und zur Spitzenlasterzeugung eingesetzt. Seit 1990 hat sich der Einsatz mehr als halbiert. Im Jahr 2009 wurde wieder etwas mehr Mineralöl zur Spitzenlasterzeugung eingesetzt, da es im Krisenjahr deutlich preiswerter war als Erdgas. Seit dem sinken die Brennstoffeinsätze wieder und damit auch die Emissionen aus der Nutzung von Mineralöl.

Der Einsatz von Erdgas zur Stromerzeugung ist seit 1990 sehr deutlich angestiegen, was jedoch nicht in gleichem Maße zum Emissionsanstieg führte, da Erdgas deutlich niedrigere spezifische CO_2-Emissionen aufweist als Kohle. Der signifikante Anstieg des Erdgaseinsatzes ab 2005 ist insbesondere auf die Inbetriebnahme einer ganzen Reihe von großen GuD- und mittleren Gasturbinenkraftwerken zurückzuführen. Darüber hinaus wird Erdgas zunehmend als Regelenergie für die Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien genutzt. Seit dem Jahr 2010 sank der Erdgaseinsatz zur Stromerzeugung preisbedingt wieder. Bis zum Jahr 2015 fiel der Wert sogar deutlich unter das Niveau von 2005. Im Jahr 2016 steigt der Erdgaseinsatz erstmals wieder deutlich an. Auch im Jahr 2019 ist ein solcher Anstieg zu verzeichnen.

Der Einsatz von Erdgas zur Stromerzeugung ist seit 1990 sehr deutlich angestiegen, was jedoch nicht in gleichem Maße zum Emissionsanstieg führte, da Erdgas deutlich niedrigere spezifische CO_2-Emissionen aufweist als Kohle. Der signifikante Anstieg des Erdgaseinsatzes ab 2005 ist insbesondere auf die Inbetriebnahme einer ganzen Reihe von großen GuD- und mittleren Gasturbinenkraftwerken zurückzuführen. Darüber hinaus wird Erdgas zunehmend als Regelenergie für die Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien genutzt. Seit dem Jahr 2010 sank der Erdgaseinsatz zur Stromerzeugung preisbedingt wieder. Bis zum Jahr 2015 fiel der Wert sogar deutlich unter das Niveau von 2005. Im Jahr 2016 steigt der Erdgaseinsatz erstmals wieder deutlich an. Auch im Jahr 2020 ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Aufgrund der wirtschaftlichen Erholung stieg im Jahr 2010 die Stromerzeugung aus fast allen fossilen Energieträgern z.T. sehr deutlich an, was zu einer Erhöhung der CO_2-Emissionen führte. Bis zum Jahr 2013 steigen die Emissionen weiter an. Das ist zum einen durch einen hohen Exportüberschuss zu erklären. Zum anderen durch den deutlich gesunkenen Anteil der Kernenergie am Strommix. Als weiterer Grund für die Steigerung der CO_2-Emissionen in den Jahren 2010, 2012 und 2013 sind die kalten Winter zu nennen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien wirkt sich insgesamt emissionsmindernd aus. Seit dem Jahr 2014 sinken die CO_2 Emissionen wieder. Die deutliche Emissionsminderung im Jahr 2015 ist im Wesentlichen auf die statistische Ummeldung der Gichtgaskraftwerke in die Stahlindustrie sowie auf die deutliche Effizienzerhöhung, aufgrund der Inbetriebnahme neuer Steinkohlekraftwerke zurückzuführen. Trendbestimmend ist in den Jahren 2016 und 2017 die preisbedingte Verschiebung des Brennstoffmixes von Steinkohle zu Erdgas. Dieser Trend setzte sich 2020 fort. Aufgrund der Corona-Krise nahm der Stromverbrauch ab. Die Stromerzeugung sank noch stärker, da weniger Strom exportiert wurde. Witterungsbedingt stieg die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien an. Außerdem waren die Preise für CO_2 Zertifikate höher als in den Vorjahren. Das

führte in der Summe zu einem unerwartet hohen Emissionsrückgang im Jahr 2020. Den deutlichsten absoluten Emissionsrückgang verzeichnete die Braunkohle. Im Laufe des Jahres 2019 wurden weitere Kraftwerksblöcke in die Sicherheitsbereitschaft überführt. Das wirkte sich noch in 2020 emissionsmindernd aus. Die Stromerzeugung aus Steinkohle ging trotz eines erheblichen Rückganges im Vorjahr und der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Datteln 4 in 2020 noch mal deutlich zurück.

Der Trend für das Treibhausgas N_2O wird im Wesentlichen vom Kohleeinsatz bestimmt. Da für N_2O keine Minderungsmaßnahmen in Energieerzeugungsanlagen bekannt sind, ist der seit 1990 sinkende Trend auf den verringerten Kohleeinsatz zurückzuführen.

Für CH_4 ist dagegen seit 1990 ein steigender Trend zu beobachten. Hier macht sich vor allem der seit 2003 deutliche Anstieg des Biogaseinsatzes bemerkbar. Biogas wird vorwiegend in Verbrennungsmotoren eingesetzt, die sehr hohe spezifische Methanemissionen aufweisen.

3.2.6.2 Methodische Aspekte (1.A.1.a)

Aktivitätsraten

Die in der Energiebilanz verbuchten Energieeinsätze werden im Modell „Bilanz der Emissionsursachen“ mit Hilfe statistischer Daten nach verschiedenen Kriterien auf mehrere Zeitreihen aufgeteilt. Ziel der Berechnungen ist es, eine an die technischen Belange der Strom- und Wärmeerzeugung angepasste Datenbasis zu schaffen. Folglich können brennstoff- und technikspezifische Emissionsfaktoren auf die Aktivitätsraten angewendet werden.

Um den Einsatz von Erdgas und leichtem Heizöl in Gasturbinen, GuD-Anlagen, Dampfturbinen und Gasmotoren zur Strom- und Wärmeerzeugung berechnen zu können wurde 2014 im UBA ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe aus der UBA-Kraftwerksdatenbank bekannte Wirkungsgrade in die Berechnung einbezogen wurden. Damit kann über die aus der Energiestatistik verfügbare Stromerzeugung für die o.g. Anlagenarten ein Brennstoffeinsatz berechnet werden.

Ab dem Jahr 2012 weist die Energiebilanz Mini-KWK Anlagen als sogenannte Einspeiser in das öffentliche Netz aus. Folgerichtig werden die Emissionen aus der Erdgasverbrennung sowie der Verbrennung von leichtem Heizöl in diesen Anlagen, in der Quellgruppe 1.A.1.a berichtet. Die Brennstoffeinsätze aus der Wärmeerzeugung werden in der Quellgruppe 1.A.4 berichtet.

Die Aktivitätsraten für die Neuen Bundesländer wurden für das Jahr 1990 bereits zur Berichterstattung 2006 im Rahmen des Forschungsprojektes (Zander and Merten (2006), FKZ 205 41 115 / Teilvorhaben A „Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990“) überarbeitet und dokumentiert.

Im Fall der Strom- und Wärmerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Kraftwerke, sowie der Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Fernheizwerke werden für die Bestimmung der Aktivitätsraten für Haus- und Siedlungsabfälle und Industriemüll sowohl Aktivitätsraten aus der Energiebilanz, als auch aus der Abfallstatistik (Statistisches Bundesamt, 2021a) verwendet.

Bis vor einigen Jahren enthielten sowohl die Energiestatistik als auch die Energiebilanz deutlich geringere Abfallmengen als die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, 2021a). In den letzten Jahren hat sich die Datenlage der Energiestatistik deutlich verbessert. Differenzierte Brennstoffangaben machen es möglich feste Biomasse (vornehmlich Alt- und Restholz), biogene Gase, Klärschlamm und Abwärme heraus zu rechnen. Industriemüll taucht als Brennstoffkategorie erstmalig seit dem Jahr 2008 in der Energiestatistik auf. Um alle

Brennstoffeinsätze beim Abfall möglichst vollständig zu erfassen, kann dennoch nicht auf Zusatzdaten aus der Abfallstatistik verzichtet werden, um die Lücke zur Energiestatistik zu schließen.

Der fossile und biogene Anteil von Hausmüll/Siedlungsabfall wird seit dem NIR 2006 im Verhältnis 1:1 separat ausgewiesen. Beim Industriemüll variiert die fossile/biogene Zusammensetzung je nach Art der Anlage, so wird der biogene Anteil für den Einsatz zur Mitverbrennung in Braun- und Steinkohlekraftwerken und für den Einsatz zur Strom- und Wärmeversorgung in Ersatzbrennstoffkraftwerken der öffentlichen Versorger getrennt ausgewiesen.

Die Aktivitätsraten der anderen Brennstoffe werden direkt aus der Energiebilanz entnommen. Sofern statistische Anhaltspunkte oder Expertenschätzungen vorliegen werden die Brennstoffeinsätze zusätzlich in zwei Größenklassen (Verbrennungsanlagen kleiner und größer 50 MW) eingeteilt. Die Einteilungsgrenze geht auf gesetzliche Vorschriften zur Genehmigung von Feuerungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland zurück.

Seit dem NIR 2011 werden die CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in öffentlichen Kraftwerken in der Kategorie 1.A.1.a berichtet. Im Jahr 2015 meldeten sich alle Gichtgaskraftwerke, die bis dahin zur öffentlichen Versorgung berichteten, in die Industrie um. Von daher findet aktuell in der Quellgruppe 1.A.1.a kein Gichtgaseinsatz mehr statt. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die entsprechenden Emissionen aus der Gichtgasnutzung über die gesamt Zeitreihe seit 1990.

Tabelle 25: CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in öffentlichen Kraftwerken

[Mio. t CO2)									
1990	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**
3,244	3,291	3,015	2,631	3,647	3,764	4,816	5,305	5,465	5,808
2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
5,956	9,284	9,030	9,766	9,640	6,738	7,086	6,370	5,851	3,425
2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**		**ab 2016**		
6,276	6,258	6,080	6,465	5,532	0,014		0,000		

Emissionsfaktoren

Da CO_2 Emissionen von der Brennstoffqualität abhängen, werden die CO_2 Emissionsfaktoren Sektor übergreifend berechnet und genutzt. Eine detaillierte Beschreibung sowie eine Liste mit den verwendeten Faktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Datengrundlage für die verwendeten Emissionsfaktoren für alle anderen Treibhausgase und Vorläufersubstanzen ist der Bericht zum Forschungsvorhaben "Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010" (Rentz et al., 2002). Die Werte für die Zwischenjahre 1996 - 1999 und 2001 - 2009 werden durch lineare Interpolation ermittelt. Das Vorhaben sowie die lineare Interpolation für die Zwischenjahre ist ebenfalls die Grundlage für die Emissionsfaktoren der Kapitel 3.2.7, 3.2.8 und 3.2.9, soweit dort Kraftwerke, Gasturbinen oder Kesselfeuerungen zur Bereitstellung von Dampf, Heiß- und Warmwasser mit enthalten sind. Das Forschungsvorhaben wurde ausgeführt vom Deutsch-Französischen Institut für Umweltforschung (DFIU) an der Universität Karlsruhe und Ende 2002 abgeschlossen. Ziel des Vorhabens war die Ermittlung und Evaluierung repräsentativer Emissionsfaktoren für die wesentlichen Luftschadstoffe aus genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, gültig für die Jahre 1995, 2000 und 2010. Dies beinhaltet in erster Linie eine Analyse und Charakterisierung der Emittentenstruktur und der damit verknüpften Emissionsfaktoren für das Jahr 1995 und

eine adäquate Fortschreibung dieser Daten für die Jahre 2000 und 2010. Systematisch werden auf diese Weise Emissionsfaktoren für die Stoffe SO_2, NO_X, CO, NMVOC, Staub und N_2O ermittelt. Dabei wird zwischen 12 Kohlenbrennstoffen, 4 flüssigen Brennstoffen, 7 gasförmigen Brennstoffen sowie Brennholz unterschieden. Darüber hinaus werden die verfügbaren Daten an Emissionsfaktoren weiterer Stoffe zusammengestellt; dazu gehören PAH, PCDD/F, As und Cd für genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen sowie CH_4 für Gasturbinen und genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen, die unter die TA Luft fallen. Informationen zur Vorgehensweise des Forschungsvorhabens sind im Anhang 3 dargestellt (Kapitel 19.1.2)

Wir haben im Zuge eines größeren Forschungsvorhabens, das Ende 2008 gestartet ist und im Jahre 2011 abgeschlossen werden konnte Fichtner et al. (2011) die beschriebene Datengrundlage für Emissionsfaktoren (außer CO_2) aktualisiert. Bezugsjahr für die Vorschlagswerte ist das Jahr 2004; davon ausgehend werden Prognosewerte für Emissionsfaktoren für die Jahre 2010, 2015 und 2020 ermittelt. Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse wurden, wie in den Berichten für 2012, 2013 und 2014 dargestellt, zahlreiche Emissionsfaktoren des ZSE aktualisiert. N_2O unterliegt in Deutschland nur in Ausnahmefällen der Überwachung; aus diesem Grunde liegen keine regelmäßigen Messdaten vor. Allerdings wurde das Emissionsverhalten bei Einsatz von Stein- und Braunkohlen, insbesondere bei Einsatz in Wirbelschichtfeuerungen und vor allem in den 90er Jahren gezielt untersucht. Das Vorhaben Fichtner et al. (2011) hat die bisher verwendeten Werte überprüft und aktualisiert. Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse für große Anlagen der öffentlichen Kraftwerke (Feuerungswärmeleistung 50 Megawatt oder mehr), die Tabelle 27 die Ergebnisse für kleinere Anlagen der Energiewirtschaft und der Industrie. Auf Grundlage dieser Werte wurden die kategoriespezifischen Emissionsfaktoren für das ZSE berechnet.

Tabelle 26: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus GFA

Brennstoff / Feuerungstechnologie	N_2O-Emissionfaktor [kg/TJ]
Öffentliche Kraftwerke:	
Steinkohle / Trockenfeuerung	1,0
Steinkohle / Schmelzkammerfeuerung	1,9
Braunkohle / Trockenfeuerung	3,5
Flüssigbrennstoff / Kesselfeuerungen	1,0
Erdgas / Kesselfeuerungen	0,5
Industriekraftwerke, Industriekessel und Fernheizwerke:	
Steinkohle / Trockenfeuerung	1,0
Steinkohle / Schmelzkammerfeuerung	2,0
Steinkohle / Wirbelschichtfeuerung	20
Steinkohle / Rostfeuerung	4,0
Braunkohle / Trockenfeuerung	3,4
Braunkohle / Wirbelschichtfeuerung	8,0
Braunkohle / Rostfeuerung	3,5
Flüssigbrennstoff / Kesselfeuerungen	1,0
Erdgas / Kesselfeuerungen	0,5
Gasturbinen und Gas-und Dampfturbinenanlagen:	
Erdgas	1,7
leichtes Heizöl	2,0
Müllverbrennungsanlagen	1,2

Tabelle 27: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus Anlagen < 50 MW FWL

Brennstoff / Feuerungstechnologie	N_2O-Emissionfaktor [kg/TJ]
Kesselfeuerungen bei Einsatz von:	
Steinkohle	10,0
Braunkohle	10,7
Biomasse	3,0
leichtem Heizöl	1,1
schwerem Heizöl	3,0
Erdgas	0,6
Gasturbinen und Gas-und Dampfturbinenanlagen:	
Erdgas	1,7
leichtes Heizöl	2,0

Tabelle 28: Methan-Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen ab 50 MW FWL und für Gasturbinen

Anlagenart	Brennstoff	CH_4-E-Faktor [kg/TJ]
Feuerungsanlagen ≥ 50 MW FWL	Steinkohle	1,0
	Braunkohle	0,63
	Heizöl, schwer	4,1
	Heizöl, leicht	3,3
	Erdgas	2,0
Gasturbinen (einschl. GuD)	Heizöl, leicht	8,0
	Erdgas	10,925
Verbrennungsmotoren	Erdgas	309,0
	Biogase	312,3
Müllverbrennung		1,8

In einem von IZT durchgeführten Forschungsvorhaben: „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11.BImSchV“ (Jörß & Gronewäller, 2010) konnten spezielle CH_4-Emissionsfaktoren für Gasmotoren ermittelt werden. Der Durchschnittswert für den Brennstoff Erdgas liegt mit 309 kg/TJ sehr deutlich über den bis dahin verwendeten Wert von 0,3 kg/TJ, der

in etwa dem Wert für Dampfturbinenkraftwerken entspricht. Der hohe Methanschlupf, der durch ein Entweichen von unverbranntem Erdgas entsteht, konnte durch Daten aus der Emissionsüberwachung bestätigt werden. Die Messwerte können abhängig von der Art des Motors und dem Wartungszustand erheblich schwanken. Für Biogas, Klärgas und Deponiegas wird ein durchschnittlicher CH_4-Emissionsfaktor von 312,3 kg/TJ verwendet. Dieser Wert wurde in dem Projekt: „Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft“ des Deutschen Biomasse Forschungszentrums (DBFZ, 2011), ermittelt.

Die für die Abfallverbrennung verwendeten Emissionsfaktoren stammen größtenteils aus dem von ATZ durchgeführten Forschungsvorhaben „Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Abfallverbrennung“ (Daschner et al., 2010). Die N_2O-Emissionsfaktoren stammen aus der Dänischen Studie „ Emissions from decentralized CHP plants 2007“ (Nielsen, 2010). Da die Emissionsfaktoren der übrigen Schadstoffe mit denen der Deutschen Müllverbrennungsanlagen gut übereinstimmen, können auch die N_2O-Faktoren auf das Deutsche Inventar übertragen werden. Für die mit verbrannten Abfälle werden gewichtete Emissionsfaktoren berechnet, je nach Anteil der als Hauptbrennstoff eingesetzten einzelnen Kohlearten.

Informationen zu den prozessbedingten CO_2-Emissionen aus der Abgasreinigung (REA) von Großfeuerungsanlagen liefert der Anhang 3 im Kapitel 19.1.2.2.

3.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.a)

Unsicherheiten für die Aktivitätsraten wurden erstmals für das Berichtsjahr 2004 bestimmt (Juhrich & Wachsmann, 2007). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel 13.6 des NIR 2007 beschrieben.

Weitere Aspekte zur Zeitreihenkonsistenz der Aktivitätsraten werden in Kapitel 18.4 und Kapitel 18.7 erläutert.

Die Angaben für die Unsicherheit des CO_2-Emissionsfaktors und deren statistische Verteilungsfunktion wurden vom Umweltbundesamt geschätzt. Die Zahlenwerte stützen sich auf die Spannweite der Kohlenstoffgehalte der einzelnen Brennstoffe.

Im Rahmen des in Kapitel 3.2.6.2 genannten Vorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) wurde die Unsicherheit der ermittelten Emissionsfaktoren evaluiert.

3.2.6.3.1 Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren

Die Unsicherheit von Emissionsdaten beruht auf mehreren Ursachen. Dies ist die *Genauigkeit*, beeinflusst durch zufällige und systematische Fehler im Rahmen einer Emissionsmessung sowie die Vollständigkeit der Datenbasis hinsichtlich fehlender Messungen. Hinzu kommt die *Variabilität* der Emissionen. Hier ist zu unterscheiden zwischen der Variabilität der Emission einer Anlage innerhalb des Betrachtungszeitraumes (*intra-plant variability*) und dem unterschiedlichen Emissionsverhalten der verschiedenen betrachteten Quellen (*inter-plant variability*).

Bei der Berechnung von Emissionen mit Hilfe von Emissionsfaktoren kommen weitere Quellen möglicher Unsicherheiten hinzu. Im Rahmen der IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6) werden jeweils an die Datenverfügbarkeit angepasste Methoden vorgeschlagen:

Beim Vorliegen *kontinuierlicher Messungen* sollten Unsicherheiten über die direkte Bestimmung statistischer Kennzahlen wie Standardabweichung und 95%-Vertrauensbereich charakterisiert werden.

Bei der Ermittlung *anlagenspezifischer Emissionsfaktoren* sollten vor Ort verfügbare Messwerte herangezogen werden. Hinzu kommt das Einbeziehen von Sonderbetriebszuständen (An- und Abfahrvorgänge) und Lastwechseln sowie eine Überprüfung der Repräsentativität verfügbarer Messdaten im Hinblick auf das Emissionsverhalten der Anlage.

Bei der Verwendung von *Emissionsfaktoren aus der Literatur* sollten alle dort gemachten Angaben zur Datenqualität genutzt werden. Weiterhin ist die Übertragbarkeit zu prüfen, inwieweit der Emissionsfaktor für die Situation im Untersuchungsgebiet repräsentativ ist. Ist dies nicht gegeben, sollte vielmehr eine Expertenschätzung vorgenommen werden.

Auf die Verwendung von *Expertenschätzungen* wird grundsätzlich verwiesen, wenn verfügbare empirische Daten für eine Quantifizierung nicht ausreichen. Eine beispielhafte Erläuterung wurde im Anhang 3 in Kapitel 14.1.2.2 im NIR 2007 gegeben.

3.2.6.3.2 Ergebnis für N_2O

Die Einzelbewertungen der Unsicherheiten der N_2O-Emissionsfaktoren sind in dem Abschlussbericht des Forschungsvorhabens Fichtner et al. (2011) dargestellt. Im Zuge einer durch den Forschungsnehmer vorgenommenen Monte-Carlo-Simulation wurden für die prozentuale Unsicherheit im CRF-Bereich 1.A.1.a (und ebenso in den Bereichen 1.A.1.b, 1.A.1.c und 1.A.2.gviii / all other) Unsicherheiten von bis zu +/- 50 % angegeben (Anmerkung: bei Angabe von +/- -Bereichen ist der Wert durch 2 zu teilen, vergleiche IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6, S. 6.14); dabei gehen wir wie bisher von einer uniformen Verteilung der Unsicherheiten aus.

3.2.6.3.3 Ergebnis für CH_4

Feuerungsanlagen unterliegen hinsichtlich der CH_4–Emissionen in Deutschland keiner Überwachung, aus diesem Grunde liegen keine systematischen Messdaten vor. Herangezogen wurden daher die in Deutschland und der Schweiz verfügbaren Einzelinformationen. Infolge dieser eingeschränkten Datenlage wurde im Forschungsvorhaben von einer systematischen Zuordnung zu den dort behandelten Quellgruppen (vergleiche Kapitel 3.2.6.2) abgesehen. Die im Forschungsvorhaben Fichtner et al. (2011) für einzelne Brennstoffe ermittelten und für die Berichterstattung verwendeten CH_4-Emissionsfaktoren für Feuerungs- und Gasturbinenanlagen einschließlich GuD sind im Anhang 19.1.2.2 zusammengestellt. Im Zuge einer durch den Forschungsnehmer vorgenommenen Expertenschätzung gemäß Tier 1 der IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6) wurde für die prozentuale Unsicherheit in der Quellgruppe 1.A.1.a (und ebenso in den Quellgruppen 1.A.1.b, 1.A.1.c und 1.A.2.gviii / all other) eine obere Grenze von +/- 50 % geschätzt; dabei gehen wir - ebenso wie bei N_2O - von einer uniformen Verteilung der Unsicherheiten aus.

3.2.6.3.4 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren für N_2O wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Fichtner et al. (2011) für den Zeitpunkt 2004 (Bezugsjahr) ermittelt. Das Forschungsvorhaben sieht keine Anhaltspunkte für zeitliche Änderungen für den einzelnen Emissionsfaktor. Frühere Annahmen, dass zumindest die Werte für Gasturbinen zeitvariabel sein können, haben sich nicht bestätigt. Aus diesem Grunde haben wir für jede Zeitreihe konstante Werte für den Zeitraum 1995 bis 2020 eingesetzt und diese Werte auch als Prognosewerte bis 2020 angenommen.

Die Zeitreihen für N_2O zwischen 1995 und 2020 sind vor diesem Hintergrund insgesamt als konsistent zu bewerten. Die Zeitreihen der CH_4-Emissionsfaktoren für die Jahre 1995 bis 2020 wurden ebenfalls geprüft und als in sich konsistent bewertet.

Zum Zeitraum von 1990 bis 1994 haben wir im NIR 2009 berichtet.

Zur Sicherung der Zeitreihenkonsistenz wurden die für Verbrennungsmotoranlagen ermittelten CH_4-Emissionsfaktoren bis 1990 zurückgeschrieben. Es ist zwar davon auszugehen, dass der Methanschlupf Anfang der 90er Jahre noch deutlich höher lag, als bei modernen Motoranlagen, es liegen für diesen Zeitraum jedoch zu wenig Messwerte vor.

Da für die meisten biogenen Brennstoffe erst ab dem Jahr 2003 statistische Daten zum Brennstoffeinsatz vorliegen, kann für diese Brennstoffe keine konsistente Zeitreihe ab 1990 vorgelegt werden. Das hat ausschließlich Auswirkungen auf den Trend der CH_4-Emissionen, der ab dem Jahr 2003 steil ansteigt.

3.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Dokumentation ihrer Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Erstellung der Energiebilanzen legt die AGEB dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der vor (siehe Kapitel 18.4.1). Seit dem Jahr 2012 führt die AGEB systematische Vergleiche zwischen der Schätzbilanz des Jahres x-1 (vorläufig) mit der Energiebilanz des Jahres x-2 (endgültig) durch, erstmals für das Berichtsjahr 2010 (siehe Kapitel 18.4.1).

Die Qualitätssicherung der amtlichen Statistik erfolgt über ein internes Qualitätssystem, dessen Qualitätsberichte innerhalb der Internetveröffentlichungen des *Statistischen Bundesamtes* einsehbar sind.

Zusätzlich zu diesen Maßnahmen findet eine Einbindung der AGEB in den jährlichen Überprüfungsprozess sowie ein regelmäßiger Erfahrungsaustausch mit der AGEB im Rahmen einer jährlichen Sitzung oder im schriftlichen Umlaufverfahren statt, zu der UBA alle an der Erstellung der Energiebilanz beteiligten Institute einlädt. Hier werden vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus der Inventarerstellung und der Inventarüberprüfung methodische Fragen angesprochen und es erfolgt ein genereller Austausch, der dem besseren Verständnis der Datenerhebung sowie der Verifizierung der Daten dient.

Die generellen qualitätssichernden Maßnahmen zu den Emissionsfaktoren von Feuerungsanlagen im Rahmen der Forschungsvorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) sind in der Methodikbeschreibung im Anhang 3, Kapitel 19.1.2.1 (hinter Abbildung 97) dargestellt. Ihre Ergebnisse wurden im NIR 2005 berichtet.

3.2.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.a)

Tabelle 29: Rückrechnungen CRF 1.A.1.a

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut					Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2018	262.191	262.960	0	0	757	11	768	0,29%
2019	213.484	214.809	-523	306	515	1.026	1.325	0,62%

Im Jahr 2019 kommt es wie gewohnt zu Rückrechnungen bei allen Energieträgern, nachdem die vorläufigen Daten durch die endgültige Energiebilanz ersetzt wurde.

3.2.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.a)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.7 Mineralölraffinerien (1.A.1.b)

3.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 1 b, Petroleum Refining**	**fossil fuels**	**CO2**	**20.165,6**	**1,6%**	**18.553,1**	**2,6%**	**-8,0%**
-/-	1 A 1 b, Petroleum Refining		N2O	100,4	0,0%	57,7	0,0%	-42,6%
-/-	1 A 1 b, Petroleum Refining		CH4	16,1	0,0%	14,3	0,0%	-11,2%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie der *Mineralölraffinerien* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die oben angegebenen Werte gelten für Raffineriekraftwerke (Teil der Kategorie 1.A.1.b).

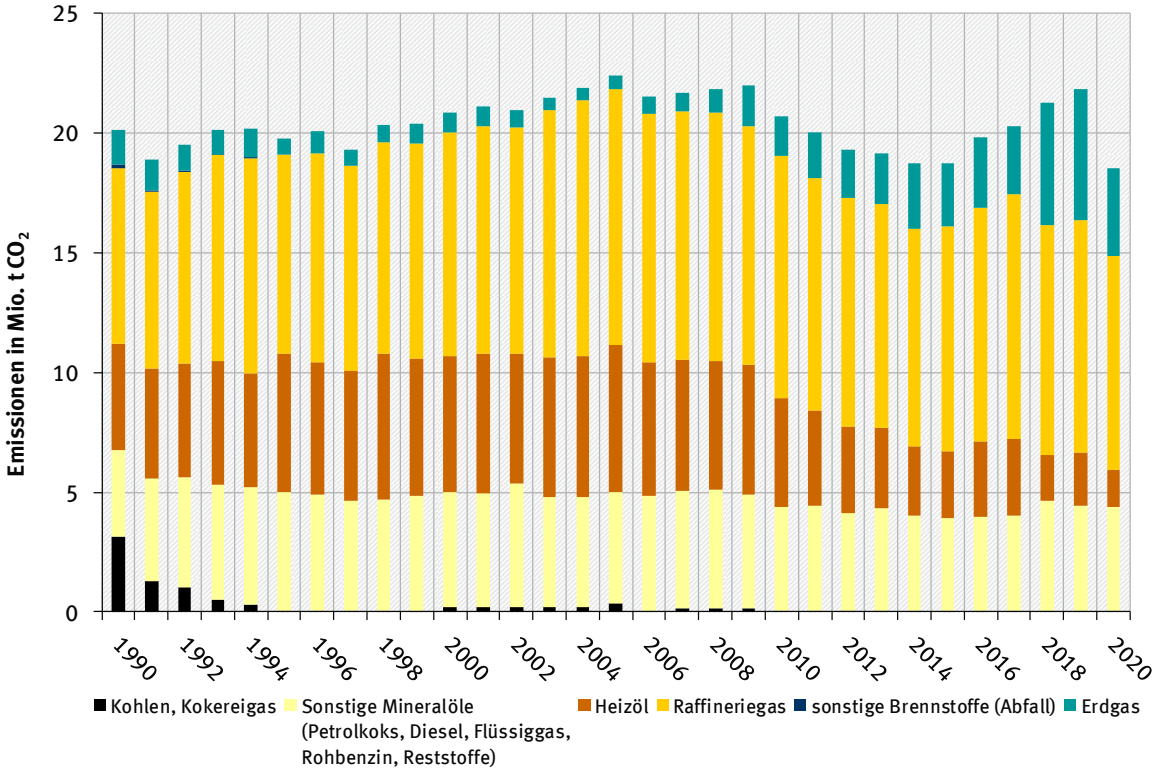
Die Rohöldestillationskapazität der deutschen Mineralölraffinerien betrug im Jahr 2020 rund 103 Mt. In diesem Zeitraum wurden 84,6 Mt Rohöl und 15,4 Mt Zwischenprodukte zur Weiterverarbeitung eingesetzt. Die Erzeugung an Mineralölprodukten betrug insgesamt 101 Mt, davon entfielen ca. 51 Mt auf Kraftstoffe, ca. 20,3 Mt auf Heizöle, ca. 7Mt auf Naphtha und ca. 19,0 Mt auf andere Produkte. (MWV (2021b), Tab PRE1.1, Tab 4, Tab 5j).

In der Mineralölverarbeitung werden Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von etwa 1,0 GW betrieben. Diese Kraftwerke erzeugten im Jahr 2020 5,6 TWh Strom (Statistisches Bundesamt, 2021c).

Der Kategorie 1.A.1.b Raffinerien sind im ZSE die Raffinerie-Unterfeuerungen sowie die Strom- und Wärmeerzeugung der Raffineriekraftwerke zugeordnet.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Emissionsverlauf der Kategorie 1.A.1.b:

Abbildung 23: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.b



In den frühen 1990er Jahren wurden in den neuen Bundesländern noch Rohbraunkohlen eingesetzt, jetzt wird unter den festen Brennstoffen nur noch ein kleine Menge Kokereigas berichtet. Insgesamt zeigen die Emissionen bis zum Jahr 2005 einen leicht steigenden Trend, danach sinken sie wieder. Seit 1990 kam es in diesem Sektor zwar zu Anlagenschließungen, wenn auch in deutlich geringerem Umfang wie im Stein- u. Braunkohlenbergbau, dennoch wurde die Produktion erhöht. Die Anlageneffizienz wurde verbessert - allerdings führten im Gegenzug die vermehrte Produktion leichterer Mineralölprodukte sowie die verstärkte Tiefenentschwefelung zunächst zu einer Erhöhung der spezifischen Brennstoffverbräuche. Die Emissionsschwankungen über die Jahre lassen sich durch die unterschiedlichen Produktionsmengen erklären. Das bisherige Produktionsmaximum an Mineralölprodukten lag in 2005 bei insgesamt 123,6 Mio. t, was zu entsprechend hohen Emissionen führte. Danach sank die Produktion, bis auf 103,3 Mio. t Mineralölprodukte in 2011, einhergehend mit sinkenden Emissionen. Die Marktlage der Mineralölraffinerien ist noch immer schwierig, aufgrund von Überkapazitäten, vor allem in Europa. Eine deutsche Raffinerie stellte 2010 ihren Betrieb ein, so dass die Auslastung der anderen deutschen Raffinerien etwas gesteigert werden konnte. Im Jahr 2012 kam es trotz einer leichten Steigerung der Produktionsmenge auf 104,4 Mio. t zu einer Verringerung der Emissionen. Diese Entwicklung ist auf den erhöhten Einsatz vom emissionsärmeren Erdgas sowie einer Erhöhung der Anlageneffizienz zurückzuführen. Nach einer Produktionssenkung in den Jahren 2013 und 2014, erhöhte sich seit 2015 die Bruttoraffinerieerzeugung. Entsprechend stiegen auch die CO_2 Emissionen. Im Jahr 2020 sank die Bruttoraffinerieerzeugung. Als Folge der Corona-Krise konnten deutlich weniger Kraftstoffe abgesetzt werden. Diese Rückgänge konnten durch den leicht gestiegenen Heizölabsatz nicht aufgefangen werden. Das führte zu strukturellen Änderungen und zu einem Rückgang des Eigenverbrauches. Infolgedessen sanken die CO_2 Emissionen merklich.

3.2.7.2 Methodische Aspekte (1.A.1.b)

Aktivitätsraten

Die gesamten Daten zur Erzeugung von Mineralölprodukten in der Energiebilanz stammen aus der Amtlichen Mineralölstatistik. Die Mineralölstatistik gibt ein umfassendes Bild über Mineralölimporte, dem Umwandlungseinsatz in den Raffinerien, sowie der Produktion und dem Eigenverbrauch der Raffinerien. Zur Sicherung der Konsistenz folgt die Berichterstattung der Struktur der Mineralölstatistik sowie den entsprechenden Definitionen. In der Energiestatistik melden unter dem Wirtschaftszweig 19.2 Mineralölverarbeitung weitere Unternehmen, die z.B. Kohlen verarbeiten aber auch Altöl- oder Schmierstoffraffinerien. Diese Anlagen werden in der Kategorie 1.A.1.c berichtet. Folgerichtig wird in der Kategorie 1.A.1.b nur die Rohölverarbeitung berichtet.

Für die Berichterstattung der Emissionen aus Rohölraffinerien werden die Anlagen in Raffineriekraftwerke und Unterfeuerungen unterteilt. Die Aktivitätsraten zur Raffinerie-Unterfeuerung bestimmen sich als Differenzbetrag beim Abzug des Brennstoffeinsatzes in Raffineriekraftwerken, (aus der Energiestatistik), zum Eigenverbrauch der Raffinerien, (aus der Amtlichen Mineralölstatistik). Diese Unterscheidung ist für die Berechnung der Treibhausgasemissionen nicht relevant, aber für die Berechnung der Vorläufersubstanzen sowie weiterer Luftschadstoffe, ist diese Unterscheidung wichtig, da die Anlagen ein unterschiedliches Emissionsverhalten aufweisen.

Der in der Amtlichen Mineralölstatistik ausgewiesene Eigenverbrauch an Petrolkoks repräsentiert den Katalysatorabbrand der Anlagen. Da nicht bekannt ist auf welcher Grundlage die Betreiber den Petrolkokseinsatz berechnen, ist es nicht möglich einen passenden CO_2 Emissionsfaktor zu ermitteln. Für die Jahre 2005 bis 2014 konnte aus den vom Emissionshandel vorliegenden Gesamtemissionen aus dem Katalysatorabbrand und dem Eigenverbrauch an Petrolkoks Emissionsfaktoren ermittelt werden. Damit können die Emissionen aus dem Katalysatorabbrand für die aktuellen Jahre exakt und in Übereinstimmung mit dem Emissionshandel erfasst werden. Um entsprechende Faktoren rückwirkend bis 1990 bilden zu können, wurde zunächst ein spezifischer Faktor gebildet, der sich auf die Kapazität der Konversionsanlagen bezieht. Dieses Vorgehen hat sich nach verschiedenen Prüfungen als die realitätsnaheste Methode herausgestellt, da In- und Output der Reformer und FCC-Anlagen statistisch nicht erfasst werden. Als Ergebnis liegen die Emissionen aus dem Katalysatorabbrand im Jahr 1990 deutlich unter den Emissionen im aktuellen Jahr. Das erscheint plausibel, da die Weiterverarbeitung von schweren Mineralölprodukten seit 1990 deutlich zugenommen hat.

Da für die Jahre 1990 – 1993 für die Neuen Bundesländer kein Eigenverbrauch an Petrolkoks ausgewiesen wird, mussten diese Werte über den aus den Emissionshandelsdaten ermittelten Emissionsfaktor berechnet werden.

Da in den Mineralölraffinerien Emissionen fast ausschließlich aus Verbrennungsprozessen entstehen, werden diese in der Kategorie 1.A.1.b berichtet. Nur die diffusen Emissionen aus der Herstellung von Kalzinat sowie die Fackelemissionen werden in der Kategorie 1.B.2.a.iv berichtet.

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO_2 Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Die Emissionsfaktoren für N_2O, CH_4 sowie die Vorläufersubstanzen für Raffineriekraftwerke sind den Forschungsvorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist dem Kapitel 3.2.6.2 in Verbindung mit dem

Kapitel 19.1.2.1 im Anhang 3 zu entnehmen. Für die Prozesswärme bereitstellenden Unterfeuerungen liefert das zitierte Vorhaben keine Emissionsfaktoren. Ersatzweise werden daher für Unterfeuerungen dieselben Werte für N_2O und CH_4 gewählt, die auch für Raffineriekraftwerke angesetzt werden.

3.2.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.b)

Erstmals wurden im Berichtsjahr 2004 für die Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt (Juhrich & Wachsmann, 2007). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel „Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen“ (Kapitel 13.6 des NIR 2007) beschrieben.

3.2.7.3.1 Ergebnis für N_2O

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.2 gelten entsprechend.

3.2.7.3.2 Ergebnis für CH_4

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3 gelten entsprechend.

3.2.7.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.4 gelten entsprechend.

3.2.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.b)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Bezüglich der Raffinerien wurden Vergleiche mit Daten aus dem Britischen Inventar durchgeführt. Die Raffineriekapazität beider Länder liegt in einer ähnlichen Größenordnung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden zahlreiche Indikatoren gebildet, die nicht nur den emissionsrelevanten Eigenverbrauch, sondern auch den Umwandlungseinsatz und die Produktionsdaten abbildeten. Der Vergleich der Indikatoren zeigte eine sehr gute Übereinstimmung.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

Bezüglich der Emissionsfaktoren gelten die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3 entsprechend.

3.2.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.b)

Tabelle 30: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut				Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	solid	gesamt	gesamt
2019	21.757	21.824	125	-44	-14	67	0,31%

Nach dem Vorliegen der finalen Energiebilanz für 2019 wurden die vorläufigen Werte ersetzt. Das führte zu Rückrechnungen bei allen Brennstoffen.

3.2.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.b)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.8 Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (1.A.1.c)

3.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy**	**fossil fuels**	**CO2**	**65.289,1**	**5,1%**	**9.010,3**	**1,3%**	**-86,2%**
-/-	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N2O	659,2	0,1%	153,3	0,0%	-76,7%
-/-	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH4	92,0	0,0%	129,6	0,0%	40,9%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie der *Herstellung von festen Brennstoffen und der sonstigen Energieerzeuger* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die obigen Angaben beziehen sich auf die Kraftwerke und die sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.1.c.

Der Kategorie 1.A.1.c werden der Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau sowie die Kokereien und Brikettfabriken zugerechnet, außerdem die Gewinnung von Rohöl und Erdgas. Die Kokserzeugung im Jahr 2018 betrug 9,2 Mio. t (2017 6,7 Mio. t)[26]. Der Steinkohlenbergbau wurde Ende 2018 eingestellt. Steinkohlenbriketts werden bereits seit Anfang 2008 in Deutschland nicht mehr hergestellt. Steinkohlenkoks wird auch heutzutage noch in 5 Kokereien produziert.

Im Jahr 2020 wurden in Deutschland 107,4 Mio. t Rohbraunkohle gefördert (2019 131,3Mio. t)[27]. Die Herstellung von Braunkohlenbriketts und anderen Braunkohlenprodukten (Braunkohlenwirbelschicht und – trockenkohlen sowie Braunkohlenkoks) betrug. 5,5 Mio.t (2019 6,0 Mio. t). Der Dampf zur Trocknung der Rohbraunkohle für die Herstellung von Braunkohlenveredelungsprodukten wird aus Braunkohlenkraftwerken mit Prozessdampfauskopplung (KWK-Anlagen) bereitgestellt. Aus diesen Anlagen wird Dampf zur Trocknung der Rohbraunkohle für die Herstellung der Braunkohlenprodukte ausgekoppelt.

Die deutsche Förderung von Erdöl im Jahr 2020 betrug 1,91 Mio. t (2019 1,93Mio. t) (MWV, 2021b) und die Erdgasförderung erreichte 2020 ca.5155 Mio m^3 (2019 ca. 6062 Mio m^3) (BVEG, 2021b). Der für den Betrieb der Anlagen erforderliche Brennstoffeinsatz für den Eigenbedarf wird in der Kategorie 1.A.1.c berichtet.

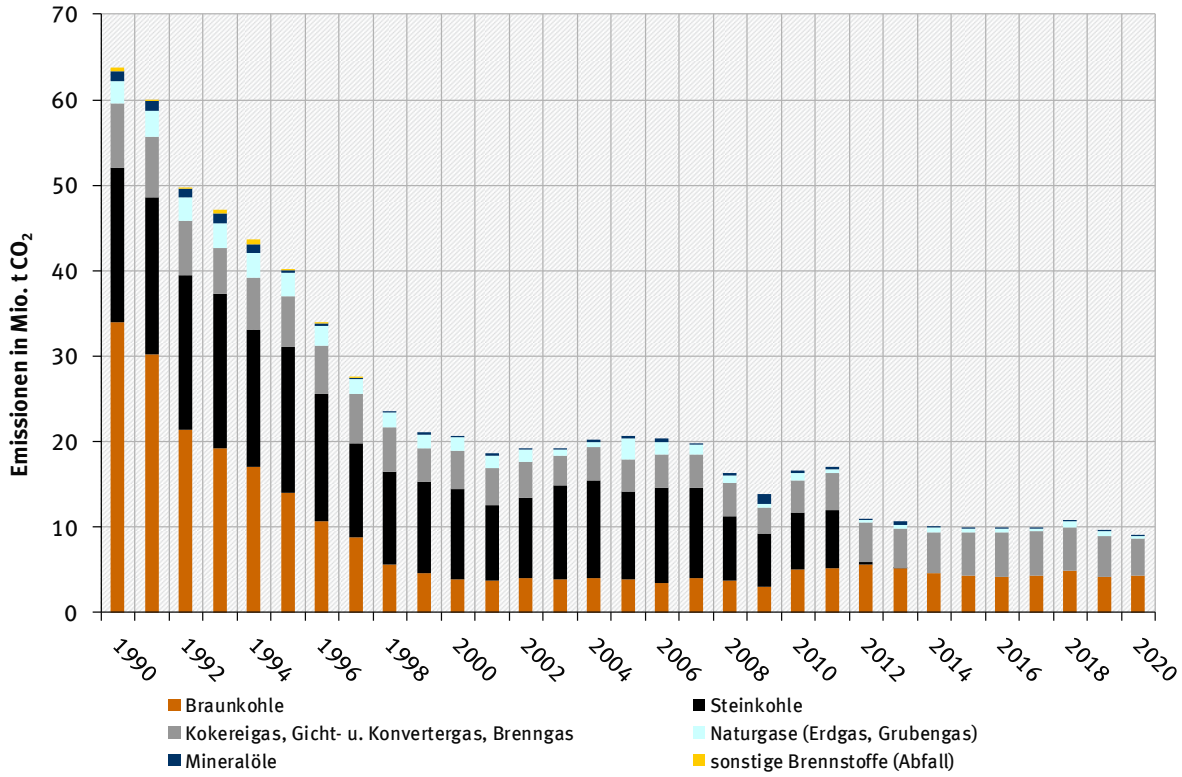
Unter die Kategorie 1.A.1.c Produktion fester Brennstoffe und anderer Energien fallen im ZSE die Strom- und Wärmeerzeugung in Dampfturbinenkraftwerken, getrennt nach Steinkohlenbergbau und Braunkohlenbergbau (Grubenkraftwerke), die Strom- und Wärmeerzeugung in Gasturbinen, Gasmotoren und Dieselmotoren der Zechen- und Grubenkraftwerke zusammen, die übrige Wärmeerzeugung in Industriekesseln des Umwandlungsbereichs (ohne Raffinerien) sowie die Herstellung von Steinkohlenkoks und der Betrieb von Dieselmotoren zu Antriebszwecken in Zechen- und Grubenkraftwerken. Sie werden getrennt nach Großfeuerungsanlagen und TA Luftanlagen berichtet.

[26] Verein deutscher Kokerei-Fachleute VdKF – siehe https://www.vdkf-ev.de/web/site/index.php/produktionskennzahlen/

[27] siehe DEBRIV - https://kohlenstatistik.de/files/foerder.xlsx

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die Emissionsentwicklung der Kategorie 1.A.1.c:

Abbildung 24: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.c



Die Abbildung zeigt sehr deutlich wie stark die Emissionen in dieser Kategorie seit 1990 zurückgegangen sind. Den stärksten Emissionsrückgang verzeichnet die Braunkohle, die in den neuen Bundesländern Anfang der 1990er Jahre stark rückläufig war. Die DDR-Wirtschaft basierte im Wesentlichen auf Braunkohle. Aus der Rohbraunkohle wurden verschiedene Veredlungsprodukte für die Industrie, Haushalte kleinere Gewerbebetriebe hergestellt. Bis Ende der 90er Jahre erfolgte eine umfangreiche Umstellung von Braunkohlen auf andere Energieträger. In einer deutlich reduzierten Anzahl an Industrieanlagen und Gewerbebetrieben wurde nun vermehrt Steinkohle, Mineralöl und Erdgas eingesetzt, während in den Haushalten die Kohleöfen durch modernere heizöl- und erdgasbefeuerte Heizungsanlagen ersetzt wurden. Dadurch sank die Brikett- und Staubproduktion in den neuen Bundesländern von fast 39 Mio. t in 1990 auf ca. 2,6 Mio. t im Jahr 1997. Die Schließung der meisten Anlagen der Braunkohlenverarbeitung in diesem Zeitraum führte zu einer sehr starken Emissionsreduktion. Ab 1998 erfolgte die Bereitstellung der Trocknungsenergie für die Braunkohlenprodukte in den neuen Bundesländern ausschließlich durch Prozessdampf aus öffentlichen Kraftwerken. In den alten Bundesländern führten eine Verbesserung der Anlageneffizienz und ebenfalls eine Verringerung der Produktion bis zum Jahr 2003 zu sinkenden Emissionen. Danach traten aufgrund von Produktionserhöhungen auch wieder leichte Anstiege auf.

Die Emissionen aus der Steinkohlennutzung im Sektor 1.A.1.c sinken seit dem Jahr 1990 deutlich. Das hat zum einen mit einer starken Reduktion der Steinkohlenförderung zu tun, die 1990 noch über 70 Mio. t betrug und die im Jahr 2018 eingestellt wurde. Zum anderen haben sich über die Jahre einige Anlagen vom Steinkohlenbergbau in die öffentliche Versorgung umgemeldet, was zu einer Verschiebung der Emissionen führte. Auch die bis 2011 in der Kategorie 1.A.1.c verbliebenen Kraftwerke speisten Strom in das öffentliche Netz ein. Ab dem Jahr 2010 kam es aufgrund der konjunkturellen Erholung und der damit einhergehenden

erhöhten Stromnachfrage, zu einer Erhöhung der Brennstoffeinsätze von Braun- und Steinkohlekraftwerken, die der Kategorie 1.A.1.c zugeordnet werden. Eine weitere Erklärung für den gestiegenen Braunkohleverbrauch ist die Ummeldung einiger Kraftwerke aus der öffentlichen Versorgung in den Braunkohlenbergbau. Das führte insgesamt zu höheren Emissionen.

Der Einsatz von Industriegasen (Kokereigas, Gicht- und Konvertergas) zeigt bis Ende der 90er Jahre ebenfalls einen abnehmenden Trend. Die Ursache liegt vor allem in der Einstellung der Stadtgaserzeugung bis 1996 und der damit verbundenen Schließung der Ortsgaswerke. Die Koksproduktion ging ebenfalls deutlich zurück. Während 1990 noch 19 Mio. t Steinkohlenkoks produziert wurden, war es 2008 nur noch knapp die Hälfte. Im Jahr 2009 aufgrund der geringen Stahlproduktion 6,7 Mio. t. Durch die verbesserte Wirtschaftslage erhöhte sich die Steinkohlenkoksproduktion in den Jahren ab 2010 wieder auf etwa 8 Mio. t. Auf diesem Niveau blieb die Produktion bis zum Jahr 2013. Aufgrund der Erweiterung einer Kokereianlage im Jahr 2014 stieg die Koksproduktion wieder leicht an, bis zum Jahr 2018 auf 9,2 Mio. t. Damit stiegen auch die Emissionen aus der Verbrennung von Gicht- und Kokereigas an. Während es 1990 noch 8 Zechenkokereien gab, gehören die derzeit noch betrieben 5 Kokereien alle zur Stahlindustrie („Hüttenkokereien"). Insgesamt führten Anlagenschließungen und Ertüchtigungen zu einer deutlichen Emissionsminderung in diesem Sektor. Aufgrund der Corona-Krise verringerte sich 2020 die Koksproduktion um rund 11%. Infolgedessen sanken auch die CO_2 Emissionen aus den Unterfeuerungen.

Im Jahr 2012 führte die erneute Ummeldung einiger bedeutender Anlagen des Steinkohlenbergbaus in den öffentlichen Sektor zu einer sehr deutlichen Reduzierung der Emissionen in der Kategorie 1.A.1.c. Dieser statistische Effekt führte allerdings zu einer Erhöhung der Emissionen aus der Steinkohlenutzung im Sektor 1.A.1.a. Insgesamt kam es im Jahr 2012 sektorübergreifend zu einer Erhöhung der Emissionen aus der Steinkohleverstromung.

Der leichte Emissionsrückgang im Jahr 2013 ist im Wesentlichen auf die Schließung eines Grubenkraftwerkes im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier sowie auf einen verringerten Brennstoffeinsatz in Rheinischen Grubenkraftwerken zurückzuführen. Der Emissionsrückgang fiel deutlich moderater aus, da zeitgleich der Erdgaseinsatz der „sonstigen Energieerzeuger" anstieg. In den Jahren 2014 bis 2017 blieben die Emissionen weitgehend stabil. In den Jahren 2019 und 2020 sind die CO_2 Emissionen aus der Braunkohleverarbeitung gesunken, da sich die Produktion von Braunkohlenprodukten verringert hat.

3.2.8.2 Methodische Aspekte (1.A.1.c)

Die Auswahl der Berechnungsmethode ist auf Basis der aktuellen Hauptkategorienanalyse erfolgt.

Der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in Kraftwerken des Steinkohlen- bzw. des Braunkohlenbergbaus ist in der Energiebilanzzeile 12 „Industriewärmekraftwerke" enthalten. Der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung im Umwandlungsbereich ist den Energiebilanzzeilen 33-39 bzw. der Summenzeile 40 („Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt") zu entnehmen.

Mit Hilfe von Angaben des Statistischen Bundesamtes (2021c) wird der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus ermittelt. Die Aktivitätsraten zur Wärmeerzeugung in Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus entsprechen der Energiebilanzzeile 34 „Energieeinsatz in Steinkohlenzechen- und -brikettfabriken".

Der ausgewiesene Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in Grubenkraftwerken beruht auf Verbandsangaben (persönliche Mitteilung des DEBRIV – Bundesverband Braunkohle). Der Einsatz zur Wärmeerzeugung, insbesondere zur Braunkohlentrocknung zur Herstellung von Braukohlenprodukten ist nicht in der Energiebilanz enthalten. Dieser wird aus den Produktionszahlen der Braunkohlenprodukte[28] und den für die Trocknung notwendigen spezifischen Brennstoffeinsatz berechnet und als „Nicht- Energiebilanz“ – Einsatz im ZSE verbucht und berichtet. Die Daten werden jährlich abgefragt und aktualisiert.

Die für die Herstellung von Steinkohlenkoks eingesetzten Brennstoffmengen werden direkt aus der Energiebilanz, EBZ 33 (Kokereien) genommen. Darin wird der Eigenverbrauch der Kokereien verbucht. Die Brennstoffnutzung in den Unterfeuerungen ist die größte Emissionsquelle der Kokereien. Bevor der Koks gelöscht wird, entstehen aber auch diffuse Emissionen, die in der Kategorie 1.B.1.b berichtet werden.

Der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung im Übrigen Umwandlungsbereich setzt sich aus den Energieverbräuchen der Energiebilanzzeilen 33 bis 39 (Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt) zusammen. Dazu zählt der Grubenselbstverbrauch, Anlagen zur Erdöl- und Erdgasgewinnung sowie der Altölaufbereitung, Kohlenwertstoffbetriebe, Anlagen zur Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen und der Eigenverbrauch von Kläranlagen.

Seit der Berichterstattung 2011 werden die CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien in der Kategorie 1.A.1.c berichtet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der CO_2-Emissionen aus der Gichtgasnutzung in Kokereien über die gesamte Zeitreihe ab 1990.

Tabelle 31: CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien

[Mio. t CO2)									
1990	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**
5,340	5,251	4,590	4,083	5,066	4,924	4,707	4,969	4,362	3,145
2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
3,652	3,741	3,684	3,029	3,356	3,247	3,281	3,226	3,226	2,500
2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
3,245	3,895	4,289	4,341	4,554	4,648	4,872	4,905	4,809	4,479
2020									
3,943									

Die Überarbeitung der Daten für 1990 und die Folgejahre 1991-1994 für die Neuen Bundesländer ist in Anhang 19.1.1 beschrieben.

Emissionsfaktoren

Eine Liste der verwendeten CO_2 Emissionsfaktoren, sowie eine methodische Beschreibung sind im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Die Emissionsfaktoren für Kraftwerke und sonstige Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.1.c sind Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist dem Kapitel 3.2.6.2 in Verbindung mit dem Kapitel 19.1.2.1 im Anhang 3 zu entnehmen. Die Forschungsvorhaben unterscheiden innerhalb des Sektors nach Kraftwerken der STEAG, den übrigen Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus, den Kraftwerken des Braunkohlenbergbaus sowie den sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung.

[28] Statistik der Kohlewirtschaft 2019 siehe https:kohlenstatistik.de/19-0-Braunkohle.htm

Die Emissionsfaktoren für Kokereien wurden größtenteils aus Hensmann et al. (2012) entnommen. Die dort ermittelten Emissionsfaktoren für gefasste Quellen wurden der Kategorie 1.A.1.c zugeordnet, da diese Emissionen hauptsächlich aus der Unterfeuerung der Koksöfen resultieren. Die ermittelten Emissionsfaktoren für diffuse Quellen wurden dagegen definitionsgemäß der Kategorie 1.B.1.b zugeordnet. Neben weiteren Schadstoffen werden auch CO-Emissionen aus Kokereien in beiden Kategorien berechnet.

3.2.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.c)

Erstmals wurden im Berichtsjahr 2004 für die Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt (Forschungsvorhaben FKZ 204 41 132, Juhrich and Wachsmann (2007)). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel 13.6 des NIR 2007 beschrieben.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren ist in dem Kapitel 3.2.6.3.1 beschrieben.

3.2.8.3.1 Ergebnis für N_2O

In Anlagen des Braunkohlenbergbaus - sie sind Teil des Sektors 1.A.1.c - werden vergleichsweise viele Wirbelschichtfeuerungen eingesetzt. Es ist bekannt, dass diese relativ höhere N_2O-Emisisonen aufweisen als andere Kohlefeuerungstechnologien. Das Emissionsverhalten bei Einsatz von Stein- und Braunkohlen wurde insbesondere bei Einsatz in Wirbelschichtfeuerungen und insbesondere in den 90er Jahren gezielt untersucht. Daher lagen ausreichend Messdaten vor, die eine systematische Erhebung von N_2O-Emissionsfaktoren im Forschungsvorhaben ermöglichten. Die Ausführungen aus Kapitel 3.2.6.3.2 gelten entsprechend.

3.2.8.3.2 Ergebnis für CH_4

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.3 gelten entsprechend.

3.2.8.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.4 gelten entsprechend.

3.2.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.c)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.2 gelten entsprechend.

3.2.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.c)

Tabelle 32: Rückrechnungen CRF 1.A.1.c

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut					Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2019	9.581	9.519	-67	-1	0	7	-62	-0,64%

Im Berichtsjahr 2019 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Dadurch kommt es zu Rückrechnungen bei allen Brennstoffen.

3.2.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.c)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9 Verarbeitendes Gewerbe (1. A.2)

Die Kategorie setzt sich aus mehreren Subkategorien in enger Anlehnung an die IPCC-Gliederung (CRF) zusammen und ist in den Unterkapiteln detailliert beschrieben.

Die Berechnungsalgorithmen der Strukturelemente der BEU der Kategorie 1.A.2 wurden innerhalb des Forschungsvorhabens „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (FKZ 204 41 132, Juhrich and Wachsmann (2007)) überarbeitet und unterliegen einer einheitlichen Systematik. Sie basieren überwiegend auf der Grundlage von gesicherten Daten des Statistischen Bundesamtes.

Eine Sektordifferenzierung der Aktivitätsraten nach Branchen erfolgt ausschließlich für die Prozessfeuerungen. Hier kam es in Folge der neuen CRF-Kategorisierung zu Neuzuordnungen ab dem NIR 2015.

Bedingt durch den Umstieg der Wirtschaftszweigklassifikation in den Energie-Statistiken ab dem Jahr 2008 von „WZ 2003“ auf „WZ 2008“ wurde die Erfassung der Aktivitätsdaten für die Prozessfeuerungen aus den Einzelstatistiken entsprechend dem Umsteigeschlüssel realisiert (Statistisches Bundesamt (2008): Umsteigeschlüssel WZ 2003 auf WZ 2008).

Dies führt ab der Berichterstattung 2015 zu Schwierigkeiten bei der Zuordnung zu den neuen CRF-Kategorien der Guidelines 2006.

Die Aggregation der Industriekraftwerke und Kessel erfolgt für die Strom- und Wärmeerzeugung nach Technologien (Gasmaschinen, Gasturbinen, GuD-Anlagen und Dampfturbinen) sowie nach genehmigungsrechtlichen Regelungen (TA-Luft und 13. BImSchV). Die Berechnung der Anlagensplittung zwischen TA-Luft-Anlagen und Anlagen genehmigt nach 13. BImSchV wurde 2018 aktualisiert.

Die einzelnen Berechnungsalgorithmen sind im genannten Forschungsvorhaben ausführlich dokumentiert.

Nach der Emissionsberechnung auf der Ebene der Strukturelemente werden durch eine weitestgehend IPCC-konforme Aggregierung der Ergebnisse die Summenwerte für die Subkategorien in 1.A.2 bis NIR 2014 nach den Guidelines von 1996, ab NIR 2015 entsprechend der Guidlines von 2006 gebildet. Seit dem NIR 2006 werden die Prozessfeuerungen zum großen Teil branchenbezogen berichtet. Die Disaggregation ist bei der vorhandenen Datenlage nicht vollständig IPCC-konform möglich. So kann die Strom- und Wärmeerzeugung der Industriekraftwerke und -wärmekraftwerke nicht vollständig den Branchen zugeordnet werden und wird daher zusammengefasst unter 1.A.2.gviii Sonstige berichtet.

Die Abgrenzung der energiebedingten Prozessfeuerungen zur Strom- und Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln erfolgt mittels Statistik 067 (Stromerzeugungsanlagen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden; (Statistisches Bundesamt, 2021c).

Eine Veränderung in der Statistik 067 (ebd.) des Statistischen Bundesamtes bedingt einen Sprung der Aktivitätsraten in der Strom- und Wärmeproduktion. Bis 2001 wurde lediglich der Brennstoffeinsatz zur Stromproduktion in Stromerzeugungsanlagen ausgewiesen. Ab 2002 wird der Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeproduktion angegeben. Zu den Einsätzen zur Wärmeproduktion für die Jahre vor 2002 liegen keine Daten vor.

Im März 2017 wurde das Energiestatistikgesetz novelliert. Dies führt durch Verzögerungen in der Datenerfassung zu Datensprüngen ab dem Jahr 2018. Endgültig qualitätsgesicherte Daten aus den förderal erhobenen Statistiken liegen erst ab der Berichterstattung 2022 vor.

Das Verhältnis des fossilen und biogenen Anteils von Industriemüll ergibt sich aus der Abfallstatistik (Statistisches Bundesamt, 2021a), den Angaben der entsprechenden Industrieverbände zu Ersatzbrennstoffen und dem Forschungsvorhaben „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02).Die eingesetzten Mengen an Regelbrennstoffen aller Subkategorien sind vollständig aus der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland entnommen und in der BEU disaggregiert. Über die Energiebilanz hinaus werden in verschiedenen Subkategorien Ersatzbrennstoffe berücksichtigt, die im Forschungsprojekt Lechtenböhmer et al. (2006c) ermittelt wurden und nun über Verbandsdaten jährlich aktualisiert werden (s.u.). Demnach kommen Ersatzbrennstoffe vermehrt zum Einsatz, um teurere konventionelle Brennstoffe zu ersetzen.

Im bereits genannten Forschungsprojekt „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer et al., 2006c) wurde der Verbesserungsbedarf zum Thema „waste fuels“ im Energiebereich auf Ersatzbrennstoffe in vier Industriebranchen eingegrenzt und die Daten von den jeweiligen Industrieverbänden ermittelt. In den Industriebranchen Roheisenerzeugung, Zellulose- und Papierherstellung sowie Herstellung von Kalk und Zement liegen hiermit deutlich verbesserte und branchenspezifische Daten für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Prozessfeuerungen und in Industriekraftwerken vor.

Besonderheiten der Subkategorien sind in den Unterkapiteln beschrieben. Speziell die Sammelgruppe 1.A.2.g Sonstige ist zu beachten.

Für die im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) neu geschaffenen Strukturelemente wurden die Unsicherheiten entsprechend der im Rahmen des Forschungsberichts Lechtenböhmer et al. (2006c) dokumentierten Methode ermittelt. Dies ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben Juhrich and Wachsmann (2007) und Anhang 13.6 des NIR 2007 dokumentiert.

Kohlendioxidemissionen dominieren die CRF-Kategorie 1.A.2. Andere Treibhausgase tragen nur in sehr geringem Maß zu den Gesamtemissionen bei.

Im Zeitraum 1990 bis 1994 ist ein starker Rückgang der Treibhausgasemissionen zu verzeichnen. Dies ist bedingt durch die Stilllegung ineffizienter Anlagen des verarbeitenden Gewerbes in den Neuen Bundesländern nach dem politischen Wechsel 1990 in Deutschland.

In den Folgejahren auftretende Schwankungen der Emissionen spiegeln den konjunkturellen Verlauf der Produktion im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland wider.

3.2.9.1 Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 2 a, Iron and steel**	**fossil fuels**	**CO2**	**35.269,3**	**2,8%**	**32.589,7**	**4,5%**	**-7,6%**
-/-	1 A 2 a, Iron and steel		N2O	155,1	0,0%	97,7	0,0%	-37,0%
-/-	1 A 2 a, Iron and steel		CH4	62,5	0,0%	54,8	0,0%	-12,3%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	CS	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie *Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Eisenschaffende Industrie (Subkategorie1.A.2.a) ist neben der Zementindustrie die zweite bedeutende CO_2-Emissionsquelle unter den Prozessfeuerungen.

3.2.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.a)

Die Kategorie umfasst die Produktionsbereiche Roheisen (Hochofen), Eisenschwamm (Direktreduktion), Sinter, Walzstahl, Eisen-, Stahl-Temperguss, Siemens-Martin-Stahl und Elektrostahl, sowie Kraftwerke und Kessel der gesamten Stahlindustrie.

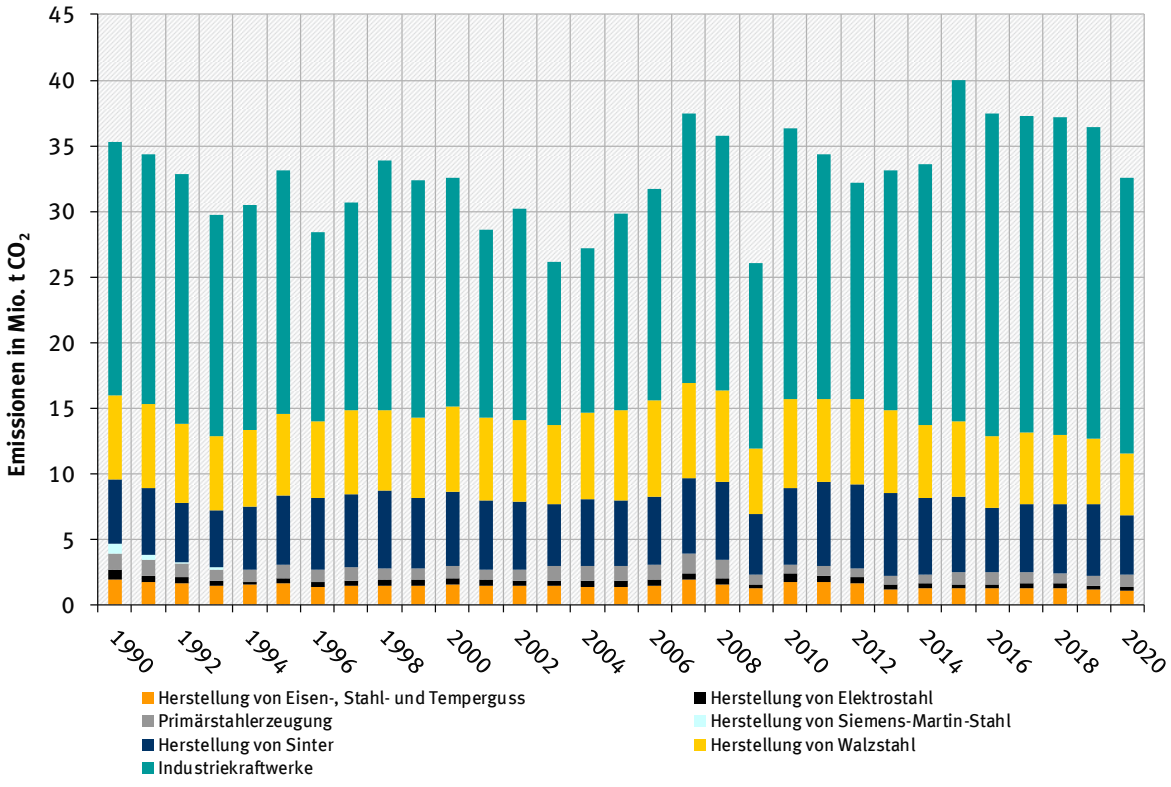
Die Herstellung von Siemens-Martin-Stahl führte nur in den neuen Bundesländern bis kurz nach 1990 zu Emissionen. In den alten Bundesländern war die Produktion von Siemens-Martin-Stahl schon vor 1990 eingestellt worden.

Eine Produktion von Eisenschwamm (direkt reduziertem Eisen; *engl.* DRI) erfolgt in Deutschland nur in geringem Umfang (ca. 0,6 Mio. t pro Jahr) und nur in einer Anlage. Die bei der Produktion von Eisenschwamm entstehenden CO_2-Emissionen resultieren aus dem Einsatz von Erdgas bzw. dem daraus erzeugten Gemisch der Reduktionsgase CO und H_2. Die eingesetzte Menge an Erdgas ist über die gesamte Zeitreihe in den unter 1.A.2.a berichteten Einsätzen von Erdgas enthalten. Somit werden die CO_2-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm über die gesamte Zeitreihe unter 1.A.2.a berichtet. Eine gesonderte Ausweisung der CO_2-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm ist aus Geheimhaltungsgründen nicht möglich.

Bei der Herstellung von Roheisen wird ein Großteil der im Hochofen eingesetzten Energieträger für die darin ablaufenden Reduktionsprozesse benötigt, während in den anderen Produktionsbereichen der Eisenschaffenden Industrie Brennstoffe zum großen Teil zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

Die folgende Graphik zeigt eine Übersicht über die CO_2-Emissionen aus den einzelnen Subkategorien in 1.A.2.a.

Abbildung 25: Entwicklung der CO2-Emissionen in Kategorie 1.A.2.a



Die Übersicht zeigt über die Jahre z.T. große Schwankungen, die überwiegend der Produktionsentwicklung folgen. In den Jahren 1990 bis 1994 ist die Absenkung der Emissionen geprägt durch die Umstrukturierung im Eisen und Stahlbereich in den neuen Bundesländern nach dem politischen Wechsel 1990.

Besonders deutlich ist der Einbruch der CO_2-Emissionen im Krisenjahr 2009 zu erkennen, in dem die Stahlindustrie einen sehr starken Produktionsrückgang verzeichnete. Der erneute Emissionsanstieg in 2010 ist der Wiederbelebung der Konjunktur zuzurechnen, bei der die Stahlindustrie fast wieder das Produktionsniveau von 2008 erreichte. Grundsätzlich folgen die CO_2 Emissionen der Konjunkturentwicklung in der Stahlindustrie. Da die Oxygenstahlproduktion im Jahr 2019 wie im Vorjahr geringfügig sank, gingen die CO_2 Emissionen im aktuellen Berichtsjahr weiter leicht zurück.

Der auffällig hohe Emissionsanstieg im Jahr 2015 ist auf die Ummeldung einiger Gichtgaskraftwerke aus der öffentlichen Versorgung (CRF 1.A.1.a) in die Industrie (1.A.2.a) zurückzuführen. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung der Emissionen. Insgesamt betrachtet steigen die CO_2 Emissionen nur leicht infolge des Produktionsanstieges an. Das ist in der Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO2-Emissionen im Kapitel 4.4.1 Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1), gut zu erkennen.

Nach den Industriekraftwerken (zur Eigenstromerzeugung aus Gicht- und Konvertergas) kommen die anteilig höchsten Emissionen aus der Walzstahl- und Sintererzeugung. Für den Hochofen werden nur die zur Energieerzeugung benötigten Erd- und Kokereigaseinsätze in der Kategorie 1.A.2.a berichtet. Die prozessbedingten Emissionen werden in der Kategorie 2.C.1 verbucht.

Nach Aussage des Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) wird vermehrt der Einsatz von Erdgas anstelle von eingeblasener Kohle in Hochöfen erprobt. Ein Einfluss auf die Emissionsentwicklung ist allerdings noch nicht erkennbar. Die deutliche Abnahme der CO_2 Emissionen im Jahr 2020 resultiert aus dem Produktionsrückgang der durch die Corona-Krise ausgelöst wurde.

3.2.9.1.2 Methodische Aspekte (1.A.2.a)

Diese Subkategorie umfasst die Prozessfeuerungen der verschiedenen Produktionsbereiche der Eisenschaffenden Industrie. Die entsprechenden Brennstoffeinsätze inklusive der Sekundärbrennstoffe sind in der BEU enthalten.

Für die Bereitstellung der Aktivitätsdaten der konventionellen Brennstoffe der Kategorie wird ab dem Berichtsjahr 2011 der sogenannte BGS-Bogen (Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokerei)), als Datenquelle genutzt. Diese ermöglicht eine verbesserte Disaggregation der Energiedaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU). Da die gesetzliche Grundlage für die Erhebungen des BGS-Bogens seit dem Berichtsjahr 2012 entfallen ist, werden die Daten seitdem auf der Grundlage einer Vereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl in gleicher Struktur bereitgestellt. Aus Datenschutzgründen werden die auf den Bezug „ Gesamtzahl für Deutschland“ aggregierten Daten ab 2018 über einen Datentreuhändler übermittelt. Diese Änderung hat auf die Berechnungen keinen Einfluss.

Die Angaben im BGS-Bogen ermöglichen neben der Darstellung der Aktivitätsdaten in Sinteranlagen, Hochofenbetrieben, Oxygenstahlwerken (Konverter) und Walzwerken die zusätzliche Disaggregation für die Elektrostahlwerke.

Weiterhin erfolgt eine datenbasierte Differenzierung der festen Brennstoffe nach „Steinkohle und Steinkohlebriketts"; „Koks" und „Koksgrus unter 10 mm". Die Brennstoffeinsätze für Koks und Koksgrus werden in der Datenbank als „Koks" summiert ausgewiesen, da die Energiestatistik den aggregierten Brennstoff „Koks" ausweist. Die im BGS-Bogen ausgewiesenen „flüssigen Brennstoffe" werden dem „Heizöl schwer" zugeordnet.

Da der BGS-Bogen Brennstoffeinsätze in natürlichen Einheiten ausweist, werden diese mit den von der Arbeitsgemeinschaft der Energiebilanzen (AGEB) ausgewiesenen Heizwerten für festen und flüssigen Einzelbrennstoffe in Energieeinheiten umgerechnet. Für die Gase wurde im BGS-Bogen eine Normierung auf 35,16912 MJ/m³ definiert, die in der Methodik der Berechnung der Aktivitätsraten für Hochofen-, Kokerei-, Erd- und Konvertergas übernommen wurde.

Die Emissionsberechnung der Sekundärbrennstoffe wurde entsprechend der Ergebnisse des Forschungsprojektes „Einsatz von Sekundärbrennstoffen" (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02 beibehalten.

Die Emissionen aus der Eisen- und Stahlindustrie werden für die gesamte Zeitreihe ab 1990 in prozessbedingte und energiebedingte Emissionen unterschieden. Die Methode zur Berechnung der prozessbedingten Emissionen ist im Kapitel 4.4.1.2 der Kategorie 2.C.1 beschrieben.

3.2.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a)

Unsicherheiten wurden in 2004 für alle Brennstoffe außer Ersatzbrennstoffe und für Ersatzreduktionsmittel hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methode ist im Forschungsbericht Lechtenböhmer et al. (2006c) erläutert. Sie wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten (FKZ 204 41 132)" aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

Die bis zur Berichterstattung 2011 verwendeten Daten zur Berechnung aus der Statistik - Fachserie 4 Reihe 8.1 - des Statistischen Bundesamtes wurden auf der Grundlage des BGS-Bogens in dieser Statistik aggregiert. Nach Einstellung der Statistik werden die Basisdaten des BGS-Bogens direkt zur Berechnung herangezogen.

Die direkte Verwendung der Daten aus dem BGS-Bogen führt zu keiner Erhöhung der Unsicherheiten. Die auf dem Forschungsbericht basierenden Unsicherheiten wurden entsprechend der konservativen Betrachtungsweise beibehalten.

3.2.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

Die Qualitätssicherung der BGS-Daten durch den Verband entsprechend QSE-Handbuch wurden in der Verbandsvereinbarung festgelegt. Der Qualitätsbericht des Verbandes wird mit den Daten übermittelt.

3.2.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.a)

Für das Jahr 2019 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt.

Tabelle 33: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.a

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut				Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	solid	gesamt	gesamt
2019	35.730	36.374	-19	-1	665	644	1,80%

3.2.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.a)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9.2 Verarbeitendes Gewerbe – Nichteisen-Metalle (1.A.2.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	1.629,2	0,1%	1.487,5	0,2%	-8,7%
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals		N2O	17,1	0,0%	7,9	0,0%	-53,8%
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH4	1,4	0,0%	1,7	0,0%	19,6%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	CS	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie Nichteisen-Metalle ist keine Hauptkategorie.

3.2.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.b)

Diese Kategorie umfasst die Prozessfeuerungen der Produktionsbereiche der Nichteisenmetalle in aggregierter Form. Eine detailliertere Darstellung ist aufgrund der Datenlage nicht möglich.

3.2.9.2.2 Methodische Aspekte (1.A.2.b)

Die entsprechenden Brennstoffeinsätze sind in der BEU enthalten. Quelle für die Brennstoffeinsätze ist die Statistik des produzierenden Gewerbes (Statistik 060 – Energieverwendung des produzierenden Gewerbes; (Statistisches Bundesamt, 2021b) (Melde-Nr. 27.43 (WZ 2003 alt) → 24.43 (WZ 2008 neu), Erzeugung und erste Bearbeitung von Blei, Zink und Zinn und 27.44 (WZ 2003 alt) → 24.44 (WZ 2008 neu), Erzeugung und erste Bearbeitung von Kupfer) und für Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2021c).

Um die Berechnungsalgorithmen für die Aktivitätsdaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU) homogener, konsistenter und transparenter darzustellen erfolgte eine Überarbeitung. Im Ergebnis dieser Überarbeitung wurde die Erzeugung und erste Bearbeitung von Edelmetallen, Aluminium und sonstige NE-Metalle zur Ermittlung der Aktivitätsdaten mit aufgenommen. Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (FKZ 204 41 132) werden die Berechnungsalgorithmen ausführlich beschrieben.

Die Aktivitätsraten für die Neuen Bundesländer für 1990 wurden im Projekt „Basisjahr und Aktualisierung“ (Zander and Merten (2006): FKZ 205 41 115) mit neuem Datenmaterial überarbeitet und dokumentiert, s. Anhangkapitel 19.1.1).

3.2.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.b)

Im Jahr 2004 wurden für alle Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt. Die Methode ist im Anhangkapitel 13.6 des NIR 2007 erläutert.

3.2.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.b)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

3.2.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.b)

Tabelle 34: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.b

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut				Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	solid	gesamt	gesamt
2019	1.624	1.571	-36	-15	-2	-52	-3,22%

Nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz wurden die vorläufigen Werte für das Jahr 2018 durch aktuelle Werte ersetzt. Dadurch kommt es bei allen Brennstoffen zu Rückrechnungen.

3.2.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.b)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9.3 Verarbeitendes Gewerbe – Chemische Industrie (1.A.2.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2017 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2017
-/-	1.A.2.c	all fuels	IE	IE	IE	IE	IE	IE

In der chemischen Industrie kommen hauptsächlich Industriekraftwerke sowie Kessel zum Einsatz. Diese Anlagen werden kategorieübergreifend in der Subkategorie 1.A.2.g Sonstige berichtet.

Die Einsätze an Energieträgern in der Kalziumkarbidproduktion sind prozessbedingt und werden unter CRF 2.B.5 berichtet (siehe Kapitel 4.3.5).

Dies bestätigt auch das Forschungsprojekt „Basisjahr und Aktualisierung“ (Zander and Merten (2006), FKZ 205 41 115) für das Jahr 1990 in den Neuen Bundesländern (wesentlicher Produktionsstandort): der Koks wurde stofflich und nicht energetisch genutzt. Die Kalziumkarbidproduktion ist demnach keine Quelle für energiebedingte CO_2-Emissionen.

Die Emissionen der gesamten Subkategorie 1.A.2.c werden somit an anderer Stelle berücksichtigt (IE - included elsewhere). Von daher wird die Subkategorie 1.A.2.c nicht gesondert in der Hauptkategorienanalyse aufgeführt.

Der Hauptteil der Emissionen aus der chemischen Industrie kommt aus Verbrennungsprozessen. Da die Brennstoffeinsätze für die chemische Industrie erst ab dem Jahr 2003 vorliegen, ist es nicht möglich Zeitreihen ab 1990 zu erstellen. Deshalb werden die Emissionen aus der energetischen Nutzung von Brennstoffen in der chemischen Industrie zusammengefasst mit anderen Industriebereichen in der Kategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet. Dennoch konnten die vorhandenen Daten genutzt werden, um mit den verfügbaren Daten aus dem Emissionshandel abgeglichen zu werden. Dabei sollten zum einen Doppelzählungen mit den IPPU Sektor vermieden werden. Zum anderen sollte eine Unterfassung der Emissionen aus der Verbrennung der sonstigen hergestellten Gase ausgeschlossen werden. Im Vergleich zeigt sich,

dass die in der Energiestatistik ab dem Jahr 2012 berichteten Daten gut mit den Brennstoffmengen im Emissionshandel zusammenpassen. Insgesamt sind die in den Vorjahren statistisch erfassten Gasmengen zu gering. Deshalb wurde zunächst ausgewertet, in welchen Bereichen der chemischen Industrie sonstige hergestellte Gase entstehen und energetisch genutzt werden. Über die Hälfte des gesamten Gasaufkommens wird bei der Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien eingesetzt. Danach folgen die Herstellung von sonstigen anorganischen Grundstoffen und die Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten. Einen kleineren Einsatz dieser Gase gibt es auch bei Herstellung von Kunststoffen in Primärformen. Für die Rückrechnung der Gasverbräuche wurden für jeden Sektor die Hauptprodukte ermittelt. Diese Daten sind aus den jährlichen VCI Berichten „Chemiewirtschaft in Zahlen“ bis zum Jahr 1990 zurück verfügbar. Lediglich für die neuen Bundesländer gibt es für das Jahr 1990 keine Produktionsdaten. Da in der Energiebilanz für die Neuen Bundesländer größere Mengen an sogenannten Brenngasen verbucht werden, ist davon auszugehen, dass diese Gase zumindest energieseitig berücksichtigt werden. Mit Hilfe der Produktionsdaten und den in der Energiestatistik für das Jahr 2013 ausgewiesenen Gasmengen konnten für jeden Teilsektor spezifische Faktoren gebildet werden, mit denen die Brennstoffeinsätze rückwirkend berechnet werden konnten.

3.2.9.4 Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff und Papierindustrie (1.A.2.d)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO2	3,6	0,0%	7,8	0,0%	114,0%
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N2O	2,8	0,0%	11,0	0,0%	293,7%
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH4	0,7	0,0%	2,6	0,0%	293,7%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	CS	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2		IE	

Die Kategorie *Zellstoff und Papier* ist keine Hauptkategorie.

3.2.9.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.d)

Der Energieverbrauch für die Herstellung von Zellstoff, und Papier, kurz in der Zellstoff- und Papierindustrie, kann nur für Ersatzbrennstoffe abgebildet werden, wobei diese in großem Umfang eingesetzt werden.

Emissionen aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen in Prozessfeuerungen sowie Emissionen der Eigenstromerzeuger sind nicht gesondert ausgewiesen, sondern werden unter 1.A.2.g Sonstige zusammengefasst berichtet.

3.2.9.4.2 Methodische Aspekte (1.A.2.d)

Die in der Papierindustrie eingesetzten Ersatzbrennstoffe werden nur teilweise in der Energiebilanz abgebildet. Dies sind Abfälle aus dem eigenen Produktionsbereich. Die Arten und Mengen der eingesetzten Stoffe wurden vom Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) zur Verfügung gestellt. Der überwiegende Teil der im Sektor eingesetzten Ersatzbrennstoffe besteht aus Holz- und Zellstofffasern und damit aus Biomasse. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Zander and Merten (2006), FKZ 204 42 203/02) wurden für Brennstoffe die biogenen und fossilen Anteile hergeleitet. Ebenso wurden CO_2-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet.

Die Daten der amtlichen Statistik zum Einsatz der Regelbrennstoffe in der Papierindustrie wurden einer Prüfung unterzogen.

Der Quelle für die Brennstoffeinsätze ist in der Statistik des produzierenden Gewerbes (Statistik 060 – Energieverwendung des produzierenden Gewerbes; Statistisches Bundesamt (2021b)nach neuer Wirtschaftszweigsystematik (WZ 2008 neu), die Wirtschaftszweignummer 17 „Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus“ zuzuordnen.

Zurzeit ist die eindeutige Zuordnung der Quelle für eine Zeitreihe entsprechend der alten Wirtschaftszweigzuordnung (WZ 2003) nicht möglich. Der WZ 17 der neuen Wirtschaftszweigsystematik 2008 stehen Anteile der WZ 17,21,22 und 36 der abgelösten Wirtschaftszweigsytematik 2003 gegenüber.

Zur Sicherung der Geheimhaltung der Einzel - Brennstoffeinsätze ist eine disaggregierte Ausweisung zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich. Gleiches gilt die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2021c), welche. für die Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung herangezogen wird.

3.2.9.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d)

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden für die die Ersatzbrennstoffe die Unsicherheiten der hergeleiteten CO_2-Emissionsfaktoren nach der Monte-Carlo-Methode bestimmt (Zander and Merten (2006), FKZ 204 42 203/02). Dabei wurden die Angaben zu C-Gehalt, Wassergehalt und Heizwert berücksichtigt. Diesen Angaben liegen Schätzungen mit Schwankungen und wenige Mess- oder Analyseergebnisse zugrunde und führen zu einer großen Bandbreite. CO_2-Emissionsfaktoren für Sekundärbrennstoffe gelten inklusive der Unsicherheitenangabe für die gesamte Zeitreihe, weil keine Erkenntnisse zu Trends vorliegen. Die Zeitreihen sind somit konsistent.

3.2.9.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.d)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die statistische Erfassung des Einsatzes sekundärer Brennstoffe hat in der Papierindustrie eine lange Tradition. Die Daten werden jährlich in einem Leistungsbericht veröffentlicht. Trotz kleinerer Strukturbrüche in den dort ausgewiesenen Zeitreihen spiegeln die dort bereitgestellten Daten die fortschreitende Substitution von Regel- durch Ersatzbrennstoffe in der Papierindustrie gut wider.

3.2.9.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.d)

Es waren keine Rückrechnungen nötig.

3.2.9.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.d)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9.5 Verarbeitendes Gewerbe – Zuckerherstellung (1.A.2.e)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/T	**1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco**	**fossil fuels**	**CO2**	**2.015,9**	**0,2%**	**241,4**	**0,0%**	**-88,0%**
-/-	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N2O	24,6	0,0%	2,2	0,0%	-90,9%
-/-	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH4	4,5	0,0%	0,2	0,0%	-95,9%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	CS	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie *Zuckerherstellung* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend (siehe Tabelle 6). Aufgrund der seit 1990 stark fallenden Emissionen (-89,6 %) und des dadurch erreichten sehr geringen Emissionsniveaus hat die Nationale Koordinierungsstelle aus Gründen der Ressourcenpriorisierung entschieden, die für Hauptkategorien vorgesehenen höheren Ansprüche an die Methodik für diese Kategorie nicht umzusetzen.

3.2.9.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.e)

In dieser Kategorie sind nur Prozessfeuerungen der Zuckerindustrie erfasst. Eigenstromerzeuger sind nicht gesondert ausgewiesen, sondern werden unter 1.A.2.g „Sonstige“ berichtet.

3.2.9.5.2 Methodische Aspekte (1.A.2.e)

Um die Berechnungsalgorithmen für die Aktivitätsdaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU) homogener, konsistenter und transparenter darzustellen erfolgte eine Überarbeitung. Im Ergebnis dieser Überarbeitung wurde ermittelt, dass die Statistiken 060 (Statistisches Bundesamt, 2021b) und 067 (Statistisches Bundesamt, 2021c) alle Brennstoffe für die Berechnung der Aktivitätsraten ausweisen und als Datenquelle verwendet werden.

Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) werden die Berechnungsalgorithmen und Sonderauswertungen zum Brennstoffeinsatz ausführlich beschrieben.

3.2.9.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.e)

Erstmals für 2004 wurden für alle Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt. Die Methode ist im Anhangkapitel 13.6 des NIR 2007 erläutert.

3.2.9.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.e)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

3.2.9.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.e)

Tabelle 35: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.e

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut				Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	solid	gesamt	gesamt
2019	260	251	-7	10	-11	-9	-3,37%

Für das Jahr 2018 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Dadurch wurden Rückrechnungen für fast alle Energieträger notwendig.

3.2.9.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.e)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9.6 Verarbeitendes Gewerbe – Mineralische Industrie (1.A.2.f)

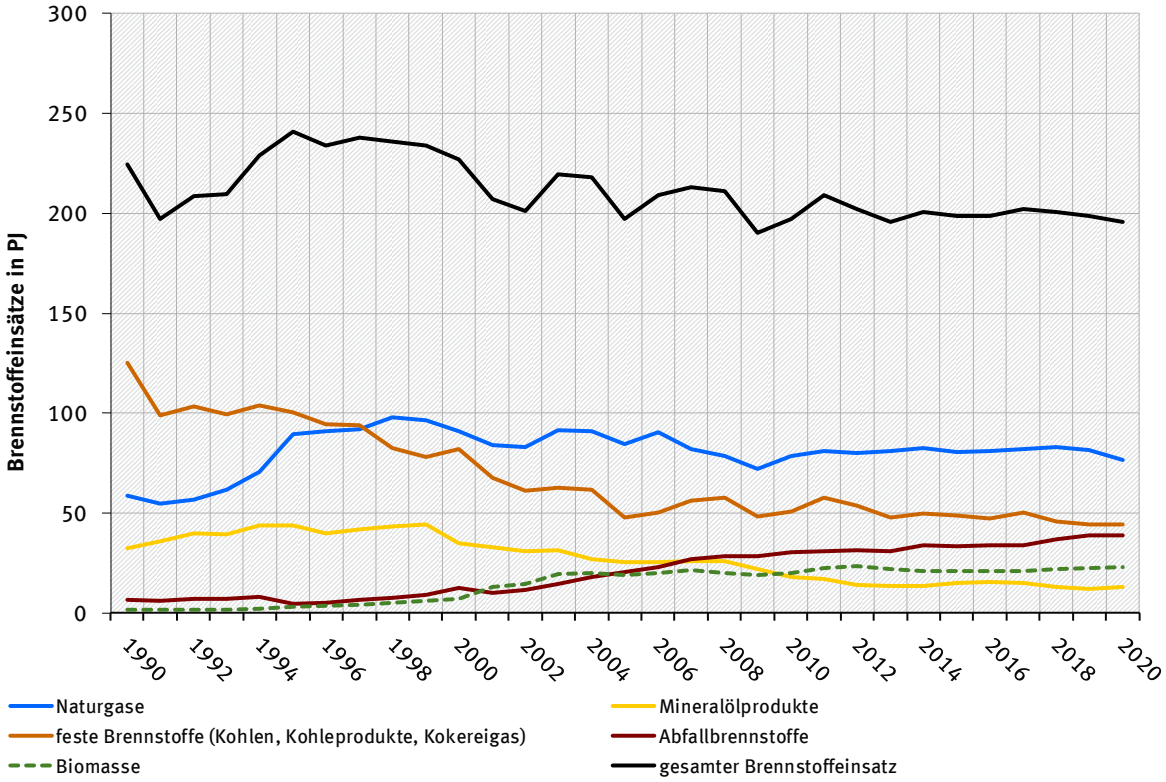
KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 2 f, Non-Metallic Minerals**	**fossil fuels**	**CO2**	**18.507,4**	**1,5%**	**12.586,9**	**1,8%**	**-32,0%**
-/-	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N2O	205,3	0,0%	117,1	0,0%	-43,0%
-/-	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH4	50,3	0,0%	14,9	0,0%	-70,4%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	CS	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS/IE	NS/IE	CS/IE

Die Kategorie *Verarbeitendes Gewerbe* - Mineralische Industrie über alle weiteren Subkategorien ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und Trend.

Im Inventar werden im Wesentlichen die Kategorien separat ausgewiesen, in denen Feuerungsanlagen mit einem spezifischen Emissionsverhalten, sogenannte Prozessfeuerungen, zum Einsatz kommen. Deshalb werden die Subkategorien 1.A.2.f Zement (Strukturelement „Herstellung von Zementklinker (Prozessfeuerung)“), 1.A.2.f Keramik (Strukturelement „Herstellung von keramischen Erzeugnissen (Prozessfeuerung)“), 1.A.2.f Glas (Strukturelement „Herstellung von Glas (Prozessfeuerung)“), 1.A.2.f Kalk (Strukturelement „Herstellung von Kalk (Prozessfeuerung)“) einzeln ausgewiesen.

Abbildung 26: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.f Non-Metallic Minerals



Im Bereich der Mineralischen Industrie können zwei Brennstoffwechsel beobachtet werden.

So verdrängen Mitte der Neunziger Jahre gasförmige Brennstoffe zunehmend die festen Brennstoffe. Beide Brennstoffgruppen dominieren diese Quellgruppe aktuell.

In den 2000er Jahren werden die flüssigen Brennstoffe (Mineralölprodukte) überwiegend ersetzt, zuerst durch die Abfälle und Sekundärbrennstoffe und dann durch Biomasse.

3.2.9.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

In dieser Kategorie werden die Prozessfeuerungen des Brennens von Zementklinker ausgewiesen. Der letzte Schritt der Zementherstellung, d.h. der Mahl- und Mischvorgang, ist nicht enthalten, sondern als stromintensiver Prozess über die Strombereitstellung (1.A.1) abgedeckt. Weiterhin werden die Prozessfeuerungen der Ziegelindustrie sowie sonstiger Baukeramik berichtet. Für die Glasindustrie umfassen die Prozessfeuerungen die Herstellung von Flachglas, Hohlglas, die Herstellung von Glasfasern, die Veredlung und Verarbeitung von Flachglas sowie die Herstellung und Veredlung von sonstigem Glas und technischen Glaswaren. Außerdem werden die Prozessfeuerungen bei der Herstellung von Kalk berücksichtigt. Eine gegebenenfalls stattfindende Eigenstromerzeugung wird nicht gesondert ausgewiesen, sondern ist 1.A.2.gviii „Sonstige“ enthalten.

3.2.9.6.1 Methodische Aspekte (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Die Brennstoffeinsätze von konventionellen Brennstoffen sind in der BEU enthalten. Die Quelle für die Brennstoffeinsätze der energiebedingten Prozessfeuerung ist die Statistik des produzierenden Gewerbes. Dabei sind folgende WZ Nummern relevant: Melde-Nr. 26.51(WZ 2003 alt) → 23.51 (WZ 2008 neu), Herstellung von Zement, Melde-Nr. 26.40 (WZ 2003 alt) → 23.32 (WZ 2008 neu), Ziegelei, Herstellung von sonstiger Baukeramik, Melde-Nr. 26.1 (WZ 2003 alt) → 23.1 (WZ 2008 neu), Herstellung von Glas und Glaswaren sowie die Melde-Nr. 26.52 (WZ 2003 alt) → 23.52 (WZ 2008 neu), Herstellung von Kalk. Eine Trennung zwischen Kalk und Gips

ist auf Grund der Änderung der Meldenummern nicht mehr möglich und erfolgt mit Hilfe eines Splitfaktors, der auf Basis alter Einzelstatistiken ermittelt wurde. Für Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2021c).

Ab 2002 liegen für die Statistik 067 (ebd.) die Daten nur im dreistelligen Meldenummernbereich vor. Das heißt, es können nur Daten für die Meldenummer 26.5 (WZ 2003 alt) → 23.5 (WZ 2008 neu) (Herstellung von Zement, Kalk und gebrannten Gips) als Datengrundlage verwendet werden.

Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten" (Juhrich & Wachsmann, 2007) und im NIR 2013 3.2.9.7 bis 3.2.9.10 werden die Berechnungsalgorithmen ausführlich beschrieben.

Die Brennstoffeinsätze für die Neuen Bundesländer 1990 wurden mittels des spezifischen Brennstoffverbrauchs des Jahres 1989 und der Produktion des Jahres 1990 errechnet.

In der Zementindustrie werden in nennenswertem Umfang Ersatzbrennstoffe eingesetzt, die nicht in nationalen Statistiken und der Energiebilanz berücksichtigt sind. Als Quelle für die Produktionsangaben und Brennstoffeinsätze werden Angaben der jeweiligen Industrieverbände genutzt. Das Verfahren für die Zusammenstellung der Aktivitätsdaten mit Raumbezug alte und neue Bundesländer ab 1990 sowie Deutschland ab 1995 ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben Einsatz von Sekundärbrennstoffen dokumentiert (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). In einem ersten Schritt wurden IPCC-gemäß die Brennstoffeinsätze den Gruppen Biomasse oder sonstige Brennstoffe (Abfälle) zugeordnet. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen" wurden biogene Anteile von Brennstoffen hergeleitet und über Splitfaktoren in die Berechnung eingespeist. Im gleichen Vorhaben wurden für Ersatzbrennstoffe CO_2-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet (Lechtenböhmer et al., 2006c).

3.2.9.6.2 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Unsicherheiten wurden in 2004 für alle Brennstoffe und für die o.g. Ersatzbrennstoffe hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methoden sind im Anhang 13.6 des NIR 2007 und im Endbericht des Forschungsprojekts (Lechtenböhmer et al., 2006c) erläutert.

Sie wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten" (Juhrich & Wachsmann, 2007) aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

Die Aktivitätsraten der neuen Bundesländer für das Basisjahr und die Folgejahre 1991-1994 wurden entsprechend den Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt (Zander and Merten (2006): FKZ 205 41 115 / Teilvorhaben A „Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990") angepasst.

3.2.9.6.3 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

3.2.9.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Mineralische Industrie)

Tabelle 36: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.f

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut					Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2019	13.286	12.856	-71	-201	0	-159	-431	-3,24%

Im Jahr 2019 kommt es zu Rückrechnungen bei allen konventionellen Energieträgern, da die vorläufigen Werte durch endgültige Energiebilanzwerte ersetzt wurden.

3.2.9.6.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9.7 Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 2 g, Other**	**fossil fuels**	**CO2**	**127.739,5**	**10,0%**	**68.423,4**	**9,5%**	**-46,4%**
-/-	1 A 2 g, Other		N2O	945,4	0,1%	543,7	0,1%	-42,5%
-/-	1 A 2 g, Other		CH4	132,4	0,0%	197,8	0,0%	49,5%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	CS	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.2.g für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. Demnach ist die Kategorie *1.A.2.g Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung* für CO_2 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Diese Subkategorie ist wegen ihrer Eigenschaft als Auffangposition für nicht branchenscharf disaggregierbare Brennstoffeinsätze besonders bedeutsam und trägt substanziell zu den CO_2-Emissionen des gesamten Energiesektors bei.

3.2.9.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

In dieser Subkategorie werden alle Emissionen berichtet, für die sich die Energieeinsätze nicht entsprechend der Gliederung für 1.A.2 disaggregieren lassen. Diese Subkategorie ist für ca. 70 % der gesamten CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.2 verantwortlich.

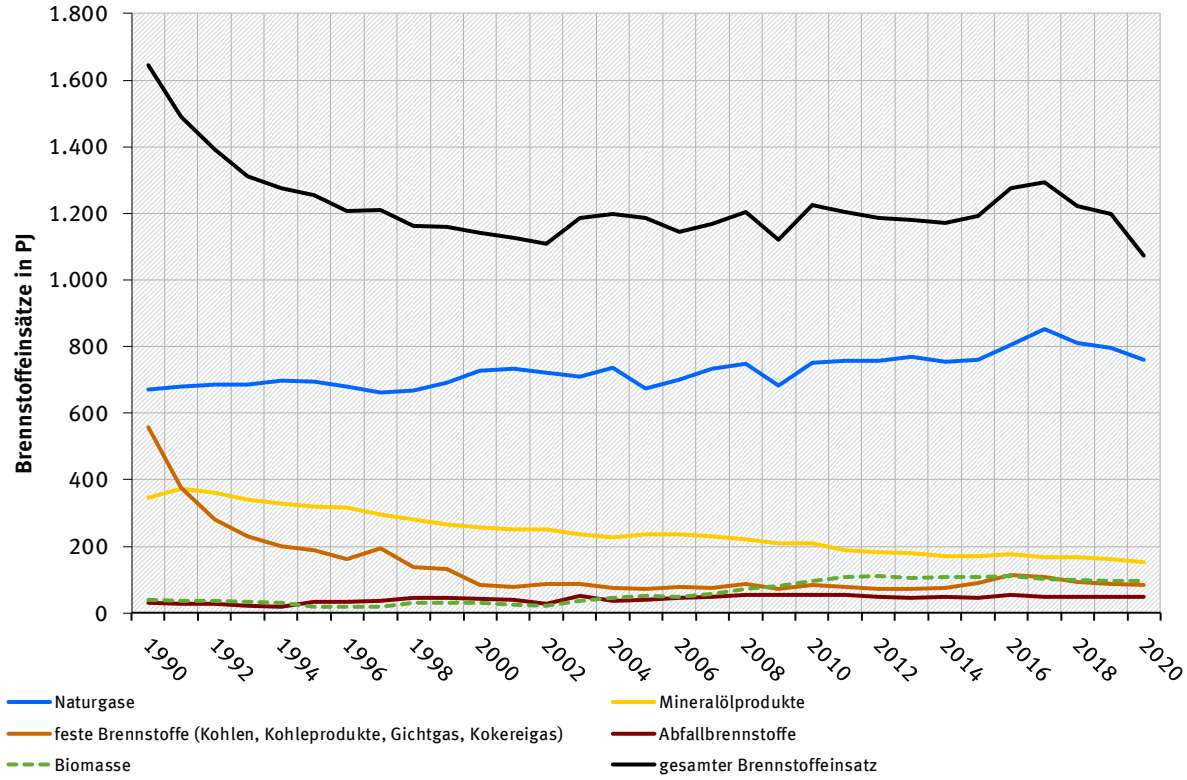
In dieser Subkategorie ist die gesamte Strom- und Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln aufgeführt, weil sich diese Anlagenarten aufgrund ihres Emissionsverhaltens zusammenfassen lassen. Da in der chemischen Industrie im Wesentlichen KWK-Anlagen und Kessel zu Einsatz kommen, werden die Emissionen aus der Kategorie 1.A.2.c mit in der Subkategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet. Eine weitere Aufteilung der Industriekraftwerke und Kessel in die vorgesehenen Subkategorien wäre nicht mit einer Verbesserung der Daten verbunden, da das Emissionsverhalten der Anlagen nicht vom Industriezweig abhängt. Vor allem die Erstellung von Zeitreihen ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da im Jahr 1990 Deutschland noch aus zwei Ländern bestand. Von daher gab es auch zwei verschiedene statistische Systeme, die in einer Übergangszeit bis 1994 zusammengeführt wurden. Es wurden große Anstrengungen unternommen, um für das Basisjahr 1990 die geforderte Dokumentation und Datenqualität bereitzustellen. Weiterhin wurde mit der Novellierung des

Energiestatistikgesetzes im Jahr 2003 die Datenerhebung, vor allem für KWK-Anlagen deutlich verbessert. Eine Rückwirkende Erhebung dieser Daten von 2002 – 1990 ist nicht möglich. Die Zeitreihenkonsistenz konnte auf aggregierter Ebene weitgehend sichergestellt werden. Eine weitere Disaggregierung würde aber zu Brüchen in den Zeitreihen führen, weil die Daten nicht durchgängig disaggregiert vorliegen und eine systematische Zuordnung ebenfalls nicht möglich ist. Dennoch wurde die Möglichkeit einer weiteren Disaggregierung umfangreich geprüft, bisher jedoch ohne erfolgreichen Lösungsansatz. Hinzu kommt, dass viele Energiedaten in Deutschland der Geheimhaltung unterliegen, so dass zur Wahrung der Geheimhaltung oft eine Aggregierung zwingend erforderlich ist. In einigen bisher einzeln ausgewiesenen Branchen müssen einzelne Brennstoffe aufgrund der Geheimhaltung zusammengefasst und unter der Kategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet werden. Das führt ebenfalls zu einer deutlichen Verringerung der Aussagekraft der Daten in den einzelnen Sektoren. Die Novellierung des Energiestatistikgesetze aus März 2017 führte zu keiner Verbesserung hinssichtlich der Disaggregationsmöglichkeiten der Industriekraftwerke und Kessel.

Letztlich ist die Grenze zwischen den einzelnen Industriesektoren und der öffentlichen Versorgung nicht eindeutig zu ziehen. Der in den IPCC Guidelines beschriebene Begriff „autoproducer“ ist in der Realität in dieser reinen Form kaum zu finden. Die Strom- und Wärmeversorgung ist in den einzelnen Unternehmen unterschiedlich geregelt. Einige Unternehmen betreiben eigene Kraftwerke, die häufig auch Strom in das öffentliche Netz einspeisen. Andere Betriebe beziehen Strom oder auch Wärme aus dem öffentlichen Netz. Im Zuge der Liberalisierung des Energiemarktes kommt es zu häufigen strukturellen Änderungen. Da die Nationale Statistik die Grundlage für die Inventarerstellung bildet, wird die in der Statistik vorgenommene Zuordnung der Anlagen übernommen. Diese Zuordnung ist weder konstant über die Zeitreihe noch durchgehend konsistent mit den Angaben im Emissionshandel und kann daher in den bestehenden Datensätzen nicht harmonisiert werden.

Eine internationale Vergleichbarkeit jener Subkategorien, in denen hauptsächlich Industriekraftwerke zum Einsatz kommen ist nicht möglich, da sich die Versorgungsstrukturen deutlich unterscheiden.

Abbildung 27: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.g viii Sonstige



Die Kategorie weist einen deutlichen Wechsel im Brennstoffeinsatz aus.

Besonders auffällig ist der Rückgang des Einsatzes an festen Brennstoffen bis 2014, vor allem durch einen deutlich geringeren Einsatz von Braunkohle. Von 2014 bis 2016 stiegen die die festen Brennstoffe wieder leicht an um dann auf dem erreichten Niveau zu verharren.. Zudem erhöht sich der Einsatz von Biomasse und Ersatzbrennstoffen (Abfall), sodass der Brennstoffeinsatz insgesamt wieder steigt. Da der Einsatz der Naturgase die Kategorie dominiert, folgt der Gesamtenergieeinsatz dem Trend des Gaseinsatzes. Hier ist für 2017 ein stärkerer Anstieg des Einsatzes zu verzeichnen, der preisgetrieben war. Ab 2018 ist besonders Verringerung des Gaseinsatzes zu verzeichnen. Dies ist dem Wiederanstieg des Gaspreise geschuldet und in 2020 dem Rückgang des Energiebedarfes in der Coronakrise. Im Bereich der Biomasse ist ein statistischer Bruch zu verzeichnen. Vor Einführung des Energiestatistikgesetzes wurde der Biomasseeinsatz zur Energieerzeugung statistisch nicht bzw. nur teilweise erfasst. Der Anteil der Biomasse steigt über die Jahre an.

3.2.9.7.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Die Brennstoffeinsätze zur Stromerzeugung in Industriekraftwerken sind in der Energiebilanzzeile 12 enthalten. Nach Abzug der Brennstoffeinsätze für Raffineriekraftwerke, Grubenkraftwerke, der Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus und bis 1999 der Kraftwerke der Deutschen Bahn bleiben als Differenzbetrag die Aktivitätsdaten in den übrigen Industriekraftwerken, die sich zur Zeit nicht weiter untergliedern lassen.

Für die Zuordnung der Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln werden zusätzliche Daten vom Statistischen Bundesamt benötigt. Aus den Statistiken lassen sich die Brennstoffeinsätze zur KWK-Wärmeerzeugung ermitteln. Die Aktivitätsdaten für die Kessel werden als Differenzbetrag errechnet.

Sowohl für die Stromerzeugung als auch für die Wärmeerzeugung erfolgt eine Aufteilung in Dampfturbinen, Gasturbinen, GuD-Anlagen und Gasmotoren, da sich vor allem die

Methanemissionen dieser Verbrennungstechniken unterscheiden. Diese Aufteilung wurde in der Submission 2015 grundlegend überarbeitet und ist unter 1.A.1.a beschrieben.

Eine ausführliche Beschreibung der Berechnungsalgorithmen, die für das Berichtsjahr 2008 grundlegend überarbeitet wurden, liegt im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) vor.

Emissionsfaktoren

Eine Liste der verwendeten CO_2-Emissionsfaktoren sowie eine methodische Beschreibung ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Alle anderen Emissionsfaktoren für Treibhausgase und Vorläufersubstanzen für Kraftwerke und sonstige Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.2.gviii / all other sind Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist dem Kapitel 3.2.6.2 in Verbindung mit dem Kapitel 19.1.2.1 im Anhang 3 zu entnehmen. Die Forschungsvorhaben unterscheiden innerhalb des Sektors nach Kraftwerken der Deutschen Bahn AG, den übrigen Industriekraftwerken sowie den sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung.

3.2.9.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Aktivitätsraten

Die Unsicherheiten wurden erstmals für das Jahr 2004 bestimmt. Die Methode ist im Anhang-Kapitel 13.6 des NIR 2007 zu finden.

Sie wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

Emissionsfaktoren

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Unsicherheiten ist in dem Kapitel 3.2.6.3.1 beschrieben.

Ergebnis für N_2O: Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.2 gelten entsprechend.

Ergebnis für CH_4: Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.3 gelten entsprechend.

Die Ergebnisse der Ermittlung der Zeitreihenkonsistenz des Kapitels 3.2.6.3.4 gelten entsprechend.

3.2.9.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

Aktivitätsraten

Die Qualität der Daten wurde bei der Bearbeitung des Forschungsvorhabens „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) überprüft und durch die Verwendung von Statistiken des Statistischen Bundesamtes als Datengrundlage verbessert. Andere, langfristig verfügbare Datenquellen konnten nicht identifiziert werden.

Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse der generellen Vorgehensweise bei der quellenspezifischen Qualitätssicherung / -kontrolle und Verifizierung des Kapitels 3.2.6.2 gelten entsprechend.

3.2.9.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Tabelle 37: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut					Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2019	69.959	67.899	-701	-1.082	33	-311	-2.060	-2,95%

Nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz wurden die vorläufigen Werte für das Jahr 2019 durch aktuelle Werte ersetzt. Dadurch kommt es bei allen Brennstoffen zu Rückrechnungen.

3.2.9.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Aktivitätsraten:

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Emissionsfaktoren:

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.9.8 Bauwirtschaftlicher Verkehr (1.A.2.g vii)

3.2.9.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g vii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1 [a], CS	NS/M	CS, D [a]
CH_4	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
N_2O	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)

[a] Biodiesel: gemäß (IPCC (2006b): Band 2, Tab. 2.4)

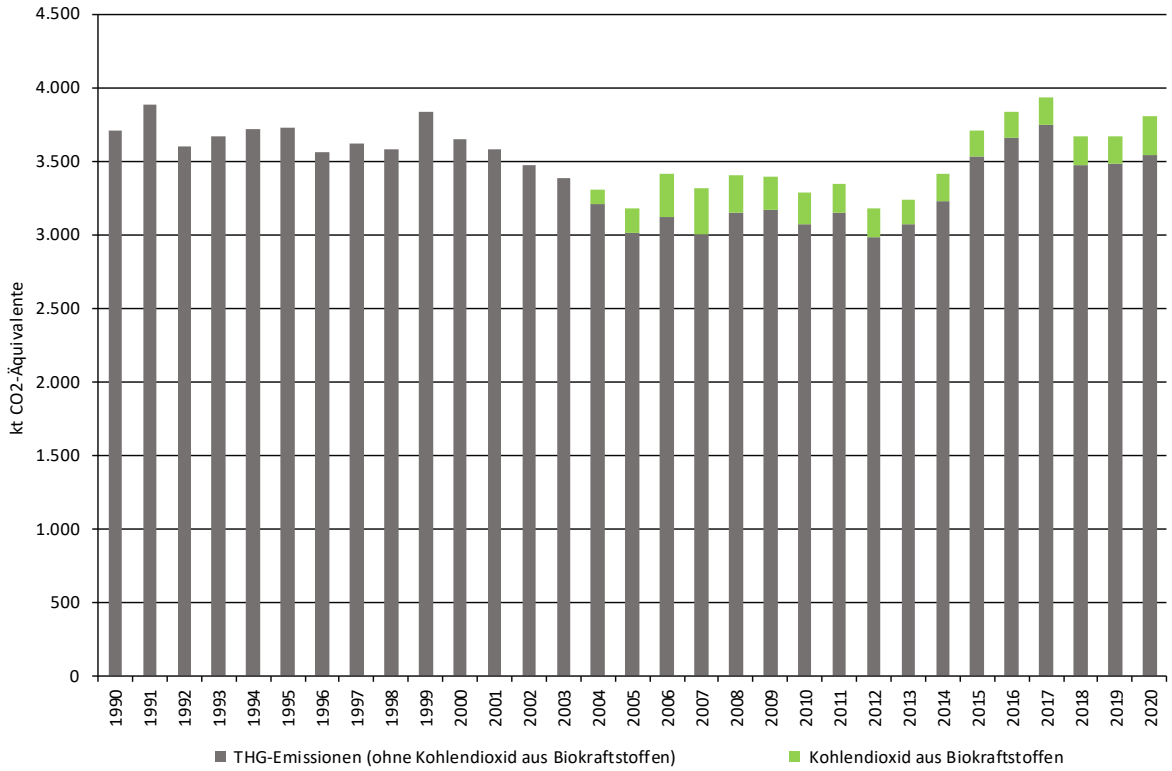
Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.2.g für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. (Übersicht siehe Kapitel 3.2.9.7.). Demnach ist die Kategorie *1.A.2.g vii – Übrige: Offroad-Fahrzeuge und sonstige Maschinen,* in der die Emissionen des bauwirtschaftlichen Verkehrs berücksichtigt sind, für CO_2 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

3.2.9.8.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g vii)

Die Emissionen werden gemäß IPCC 2006 Guidelines (IPCC (2006b): Seite 3.33; Gleichung 3.3.2) als Tier 2-Produkt aus verbrauchten Kraftstoffen und technikspezifischen Emissionsfaktoren berechnet.

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden separat ausgewiesen und den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Abbildung 28: Entwicklung der THG-Emissionen aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft seit 1990



Die **Aktivitätsraten** für fossile Diesel- und Ottokraftstoffe werden, nach Abzug der Energieeinsätze des militärischen Verkehrs, aus den Angaben der Energiebilanzzeilen 79 (bis 1994) bzw. 67 *„Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher"* berechnet. Da für die Jahre 2005 bis 2009 für den Einsatz von Diesel- und Ottokraftstoffen in den einzelnen Verkehrsträgern (siehe nachfolgende Kapitel zu Straßen- und Schienenverkehr) Angaben des MWV verwendet werden, werden – um die nötige Konsistenz mit den Gesamtmengen gemäß NEB herzustellen – die für diese fünf Jahre zugrunde gelegten Primärdaten in TREMOD berechnet. Der Einsatz von Biokraftstoffen wird, anhand der offiziellen Beimengungsraten, ebenfalls rechnerisch ermittelt.

Zur weiteren Aufteilung der Kraftstoffmengen auf mobile Quellen in Bauwirtschaft, Handel & Gewerbe (1.A.4.a ii) sowie Land- und Forstwirtschaft (1.A.4.c ii) werden dabei in TREMOD-MM (Transport Emission Model-Mobile Machinery) modellierte, jährlich schwankende Splitfaktoren herangezogen (Knörr et al., 2021b)

Die **Emissionsfaktoren** stützen sich auf Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und Expertenbetrachtungen des UBA.

Hinsichtlich Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Es kommen sowohl landesspezifische als auch Default-Werte (Biodiesel) zum Einsatz. Weiterführende Informationen speziell zur Schmierstoffmitverbrennung finden sich in Kapitel 19.1.4.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte aus Knörr et al. (2021b) zum Einsatz. Ihre Entwicklung spiegelt die seit Mitte der Neunziger Jahre schrittweise eingeführten Grenzwerte für die Abgasemissionen von bauwirtschaftlichen Maschinen wider.

Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE *(included elsewhere)* zu berichten ist.

Tabelle 38: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Diesel & Biodiesel	0,66 (4,15)	2,95 (28,60)	gemäß Knörr et al. (2021b)
Ottokraftstoff & Bioethanol	18,9 (50)	1,41 (2,00)	gemäß Knörr et al. (2021b)

in Klammern: Defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2 – Energy , Kapitel 3 – Mobile , Tab. 3.3.1: Industry

3.2.9.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g vii)

Die von der mathematischen Unsicherheit des in TREMOD MM entwickelten Verteilschlüssels (siehe oben: Methodische Aspekte) dominierten Unsicherheitenangaben der spezifischen Energieeinsätze basieren auf Expertenschätzungen. Gleiches gilt für die verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren. Während bzgl. der Emissionsfaktoren für Methan dagegen Ergebnisse aus Knörr et al. (2009) zugrunde gelegt werden, muss bzgl. Lachgas bis auf weiteres auf Richtwerte gemäß IPCC zurückgegriffen werden.

3.2.9.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g vii)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AG Energiebilanzen vor.

Tabelle 39: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	Default gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3, Tabelle 3.3.1: Industry	siehe Tabelle 40
CH_4, N_2O	Default gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3, Tab. 3.3.1: Industry	siehe Tabelle 38
CO_2, CH_4, N_2O	IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 41

Tabelle 40: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten, in kg/TJ

	Inventarwerte [a]	Default [b]	*Untergrenze*	*Obergrenze*
Dieselkraftstoff	74.027	74.100 [c]	*72.600*	*74.800*
Ottokraftstoffe	75.276	69.300 [c]	*67.500*	*73.000*
Biodiesel		70.800 [d]	*59.800*	*84.300*
Bioethanol	71.607	70.800 [d]	*59.800*	*84.300*

[a] für das Berichtsjahr 2020; [b] gemäß IPCC (2006b): Band 2, [c] Kap. 3, Tab. 3.3.1; [d] Kap. 2, Tab. 2.4

Nachfolgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten, der sich aufgrund des heterogenen Quellgruppenzuschnitts jedoch schwierig gestaltet.

Tabelle 41: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ

	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	74.426	1,99	3,08
Dänemark	73.463	2,35	3,41
Frankreich			
Niederlande	72.077	1,46	0,80
Großbritannien	74.224	11,9	2,95
EU-27			

Deutschland: IEF für das Berichtsjahr 2020; alle anderen: IEF für 2019 gemäß CRF-Submission 2021

3.2.9.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g vii)

Wie oben beschrieben, sind die Aktivitätsraten des bauwirtschaftlichen Verkehrs Teil der in EBZ 67 angegebenen Primärdaten. Für das Jahr 2019 wurden hier die in Submission 2021 noch vorläufigen Daten durch Angaben der finalen NEB 2019 ersetzt. Parallel kam es zu einer Revision der NEB 2018. Die anhand der offiziellen Beimengungsraten ermittelten Mengen eingesetzter Biokraftstoffe wurden entsprechend neu berechnet.

Tabelle 42: revidierte Primäraktivitätsdaten 2019, in Terajoule

	2015	2016	2017	2018	2019
Dieselkraftstoff					
Submission 2022	101.911	105.895	108.752	101.513	102.836
Submission 2021	101.911	105.895	108.752	101.519	102.654
Änderung absolut	0	0	0	-6,00	182
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,18%
Ottokraftstoff					
Submission 2022	12.557	12.219	11.712	11.543	11.141
Submission 2021	12.557	12.219	11.712	11.274	11.046
Änderung absolut	0	0	0	269	95,0
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	2,39%	0,86%
Biodiesel					
Submission 2022	5.575	5.614	5.806	5.901	5.857
Submission 2021	5.575	5.614	5.806	5.901	5.845
Änderung absolut	0	0	0	0	12,4
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,21%
Bioethanol					
Submission 2022	545	531	494	519	481
Submission 2021	545	531	494	507	476
Änderung absolut	0	0	0	12,1	4,10
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	2,39%	0,86%

Quelle: Energiebilanzen 2018&2019 (AGEB, 2021c) und eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2021b)

Gleichzeitig erfolgte für alle Jahre ab 2004 eine Korrektur der Heizwerte für in militärischen Fahrzeugen eingesetzte fossile Ottokraftstoffe und damit eine Revision der an das Militär sowie an alle anderen unter EBZ 67 subsummierten Verbraucher gelieferten Energiemengen.

Aus der Gesamtheit der beschriebenen Anpassungen resultierten folgende Veränderungen der letztlich dem bauwirtschaftlichen Verkehr zugewiesenen Aktivitätsdaten:

Tabelle 43: resultierende Revision der Aktivitätsdaten (ab 2004), in Terajoule

	2003	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Dieselkraftstoff									
Submission 2022	40.706	38.439	35.884	38.160	43.686	45.281	46.495	43.087	43.509
Submission 2021	40.706	38.439	35.884	38.160	43.686	45.281	46.495	43.089	43.431
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,55	77,2
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,18%
Ottokraftstoff									
Submission 2022	4.455	4.404	4.283	2.844	3.363	3.440	3.421	3.220	2.937
Submission 2021	4.455	4.403	4.272	2.799	3.326	3.406	3.393	3.123	2.992
Änderung absolut	0,00	1,42	10,63	45,21	36,96	34,17	27,51	97,07	-55,01
Änderung relativ	0,00%	0,03%	0,25%	1,62%	1,11%	1,00%	0,81%	3,11%	-1,84%
Biodiesel									
Submission 2022	0	1.311	2.293	2.926	2.390	2.401	2.482	2.505	2.478
Submission 2021	0	1.311	2.293	2.926	2.390	2.401	2.482	2.505	2.473
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,06	0,00	5,25
Änderung relativ		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,21%
Bioethanol									
Submission 2022	0	5	29	110	146	149	144	145	127
Submission 2021	0	5	29	108	144	148	143	140	129
Änderung absolut	0,00	0,00	0,07	1,75	1,60	1,48	1,16	4,36	-2,37
Änderung relativ		0,03%	0,25%	1,62%	1,11%	1,00%	0,81%	3,11%	-1,84%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2021b)

Aus den beschriebenen Korrekturen resultiert eine Rekalkulation der berichteten Emissionen.

Tabelle 44: revidierte Emissionsmengen (ab 2004), in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	2003	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid [a]									
Submission 2022	3.339	3.167	2.969	3.033	3.487	3.611	3.699	3.432	3.442
Submission 2021	3.339	3.167	2.969	3.029	3.484	3.608	3.697	3.425	3.440
Änderung absolut	0,00	0,10	0,78	3,31	2,78	2,57	2,07	7,12	1,57
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,03%	0,11%	0,08%	0,07%	0,06%	0,21%	0,05%
Methan									
Submission 2022	0,193	0,181	0,167	0,116	0,114	0,114	0,111	0,102	0,093
Submission 2021	0,193	0,181	0,167	0,115	0,114	0,113	0,111	0,100	0,094
Änderung absolut	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	-0,001
Änderung relativ	0,00%	0,02%	0,13%	0,80%	0,67%	0,62%	0,51%	2,01%	-1,20%
Lachgas									
Submission 2022	0,126	0,124	0,119	0,126	0,141	0,146	0,150	0,139	0,140
Submission 2021	0,126	0,124	0,119	0,126	0,141	0,146	0,150	0,139	0,140
Änderung absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	0,04%	0,03%	0,03%	0,10%	0,12%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]									
Submission 2022	3.381	3.209	3.009	3.073	3.532	3.657	3.747	3.476	3.486
Submission 2021	3.381	3.209	3.008	3.070	3.529	3.655	3.745	3.469	3.484
Änderung absolut	0,00	0,11	0,79	3,35	2,82	2,60	2,10	7,21	1,59
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,03%	0,11%	0,08%	0,07%	0,06%	0,21%	0,05%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.9.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g vii)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.10 Transport (1.A.3)

3.2.10.1 Transport - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)

3.2.10.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO2	2.410,9	0,2%	1.037,8	0,1%	-57,0%
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation		N2O	24,3	0,0%	10,4	0,0%	-57,2%
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation		CH4	2,6	0,0%	1,5	0,0%	-42,7%

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1 [a], CS (Tier 3a)	NS/IS/M	D [a], *CS* [b]
CH_4	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS [c] (M)
N_2O	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS [c] (M)
NO_x, CO	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS [c] (M)
NMVOC	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS [c] (M)
SO_2	Tier 1	NS/IS/M	D

[a] Flugbenzin: gemäß IPCC (2006b), Kapitel 3.6 – *Civil Aviation*, Tabelle 3.6.4

[b] abgeleitet aus Default von 3.150 kg/ t Kerosin gemäß IPCC et al. (1997) und spezifischem Heizwert gemäß AGEB (2021c)

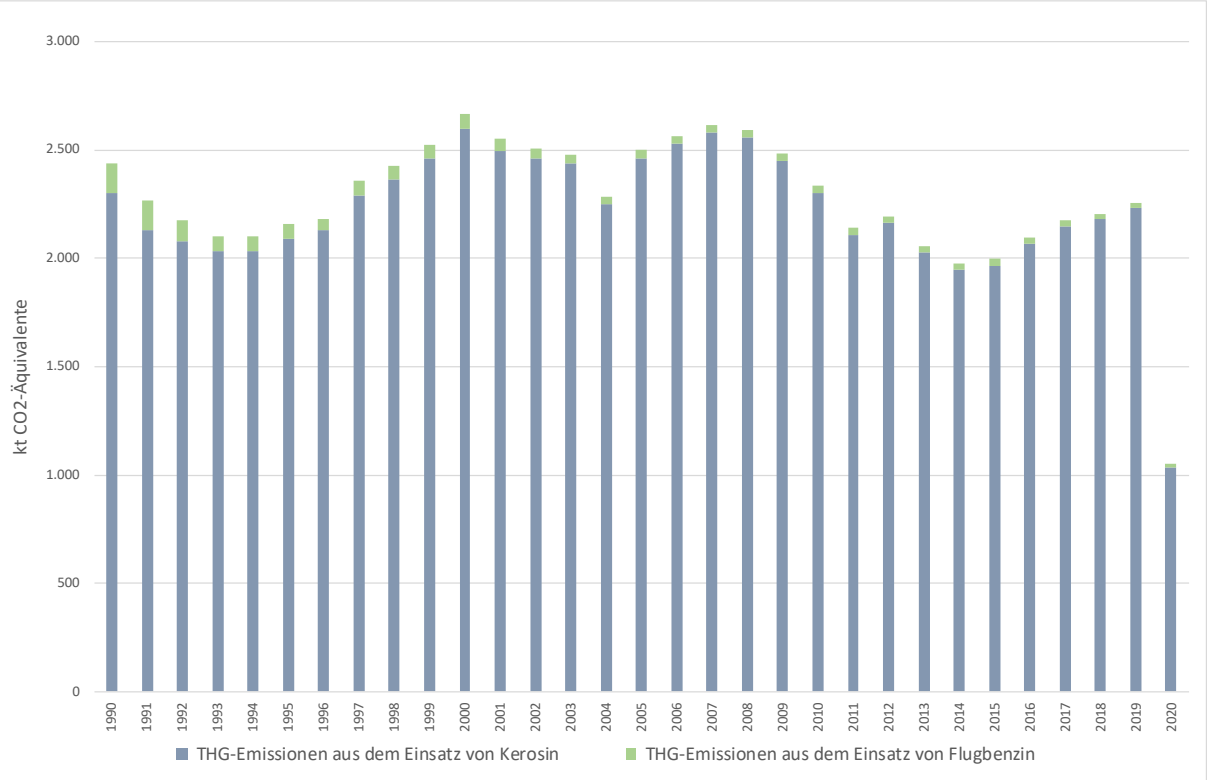
[c] abgeleitet aus Tier3-defaults gemäß EMEP (2019)

Die Kategorie *Ziviler Luftverkehr* ist keine Hauptkategorie.

Der Flugverkehr unterscheidet sich in der Entstehung seiner Emissionen in hohem Maße von den land- und wassergebundenen Verkehrsträgern: die Verbrennung der Treibstoffe findet hier weitestgehend unter von bodengebundenen Verhältnissen verschiedenen und zudem wechselnden atmosphärischen Bedingungen statt. Wesentliche Einflussfaktoren auf den Verbrennungsprozess sind der atmosphärische Druck, die Umgebungstemperatur sowie die Luftfeuchte, also Faktoren, die mit der Flughöhe erheblich variieren.

In der Debatte um die Klimawirksamkeit und die durch Luftschadstoffemissionen hervorgerufenen Umweltauswirkungen des Flugverkehrs werden neben Kohlendioxid hauptsächlich Wasserdampf sowie Stickstoffoxide und nachrangig Kohlenwasserstoffe, Partikel, Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid wahrgenommen. Im Rahmen der nationalen Emissionsberichterstattung werden allerdings auch Angaben für weitere Emissionen gefordert. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher auf die Emissionen von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O, Lachgas), Stickstoffoxide (NO_X, d.h. NO und NO_2), Kohlenmonoxid (CO), flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) sowie Schwefeldioxid (SO_2).

Abbildung 29: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des nationalen zivilen Flugverkehrs seit 1990



3.2.10.1.2 Methodische Aspekte (1.A.3.a)

Die Berechnung der Luftverkehrsemissionen erfolgt nach Tier3a, also unter Berücksichtigung der von einzelnen Flugzeugtypen jährlich geflogenen Strecken, getrennt nach nationalen und internationalen Flügen und unter Berücksichtigung der Flugbetriebszustände LTO (Landing/Take-off-Zyklus, d.h. Flugbewegungen bis 3.000 Fuß bzw. ca. 915 m) und Cruise (Reiseflug oberhalb 3.000 Fuß).

Grundsätzlich basiert die Ermittlung der Emissionen auf den Verbrauchsdaten der Energiebilanz für Kerosin und Flugbenzin (AGEB, 2021b). Für Jahre, für die noch keine oder nur eine vorläufige Energiebilanz vorliegt, werden die Absatzzahlen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA, 2021) verwendet. Entscheidend für die Berichterstattung ist die Aufteilung in innerdeutschen und internationalen Flugverkehr, die innerhalb des Modells TREMOD AV (TREMOD Aviation) (Knörr et al., 2015) erfolgt. Die dazu notwendigen Bewegungsdaten werden vom Statistischen Bundesamt erfasst.

Für die Berichterstattung werden die Emissionen durch die Multiplikation des Treibstoffverbrauchs der jeweiligen Flugphase mit spezifischen Emissionsfaktoren ermittelt. CO_2- und SO_2-Emissionen beruhen unabhängig von der verwendeten Methode allein auf der Menge bzw. den Eigenschaften des eingesetzten Treibstoffs. Emissionen von NMVOC, CH_4, CO, NO_X und N_2O hingegen sind abhängig von Motoren, Flughöhen, Flugphasen u.a. und werden mit einem höherem Tier-Ansatz genauer beschrieben.

Von diesem Ansatz abweichend werden die durch den Einsatz von Flugbenzin verursachten Emissionen, wie in (IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3: Mobile Combustion) vorgeschlagen, mit angepassten Emissionsfaktoren und Heizwerten separat berechnet.

Die **Aktivitätsraten** (Energieeinsätze) entsprechen dem in Deutschland abgesetzten Flugtreibstoff nach (AGEB (2021b); aktuell bis 2020) bzw. den vom Bundesamt für Wirtschaft

und Ausfuhrkontrolle veröffentlichten *Amtlichen Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland (BAFA, 2021)*.

Die innerhalb TREMOD AV erfolgenden Berechnungen bzgl. ***Kerosin*** berücksichtigen die Anzahl der Flüge nach Flugzeugtypen und Großkreisentfernungen für den nationalen und internationalen Flugverkehr. Einbezogen werden die vom Statistischen Bundesamt erfassten gewerblichen Flüge auf ausgewählten Flugplätzen. Flüge von „anderen Flugplätzen" sowie nicht-gewerbliche Flüge werden vom Statistischen Bundesamt nur nach Gewichts- oder Flugzeug-Klassen, jedoch nicht nach Destination unterschieden. Dabei handelt es sich zu einem weit überwiegenden Teil um Flüge mit kleinen, mit Flugbenzin betriebenen Maschinen.

Tabelle 45: jährliche Anteile der Inlandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kerosin	16,1	12,1	11,8	9,67	8,59	8,21	7,88	7,31	7,28	7,34	7,17	6,82	6,73	6,94	6,99
Flugbenzin	79,9	84,0	82,6	83,8	83,1	86,6	86,6	87,4	88,5	86,7	93,1	92,9	93,6	92,1	93,7

Quelle: TREMOD AV (Knörr et al., 2021a)

Die Aufteilung der Treibstoffverbräuche auf die beiden Flugphasen Landung/Start (LTO-Zyklus) und Reiseflug (Cruise) erfolgt, basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes, ebenfalls anhand von TREMOD-AV-Berechnungen. Diese ermöglichen die Ausspielung der Treibstoffverbräuche in der Flugphase LTO für den nationalen und internationalen Flugverkehr. Der Verbrauch im Reiseflug ergibt sich entsprechend als Differenz des Gesamtabsatzes nach der Energiebilanz abzüglich des jeweiligen LTO-Verbrauchs.

Die Menge ***mitverbrannter Schmierstoffe*** wird gemäß (VSI, 2014) aus den jährlichen Treibstoffmengen abgeleitet (siehe Kapitel 19.1.4 im Anhang).

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Der Emissionsfaktor für *Kohlendioxid* aus dem Einsatz von ***Kerosin*** wurde aus dem Gehalt an Kohlenstoff im Kerosin abgeleitet und beträgt *3.150 g/kg.* Dieser Wert ist durch zahlreiche Publikationen abgesichert und wird für den gesamten Flugverkehr verwendet.

Distickstoffoxid (Lachgas) ist ein Produkt der Oxidation von Stickstoff in der Brennkammer, das in Spuren entstehen kann. Die diesbezügliche Datenlage ist grundsätzlich schlecht. Da eine Aufgliederung der Emissionsfaktoren in die beiden Flugphasen erforderlich ist, werden die Emissionsfaktoren sowohl für Lachgas als auch *Methan* der IPCC-Emissionsfaktoren-Datenbank (EFDB) entnommen (siehe Tabelle 545). Für Methan wird dabei davon ausgegangen wird, dass Emissionen nur während des LTO-Zyklus auftreten (siehe IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5). Dagegen werden N_2O-Emissionen auch für den Reiseflug berechnet.

Die weiteren Emissionen werden, basierend auf den jeweiligen Emissionsfaktoren, nach Flugphasen getrennt berechnet. Dabei werden unterschiedliche Quellen verwendet.

Die für NO_X, CO und NMVOC verwendeten impliziten Emissionsfaktoren stellen Quotienten aus in TREMOD berechneten und aufaggregierten Flugzeugtyp-spezifischen Emissionen und dem jährlichen Kerosinverbrauch dar. Die dazu in TREMOD berechneten Detail-Emissionen beruhen dabei wiederum auf Flugzeugtyp-spezifischen Emissionsfaktoren aus der EMEP/EEA-Datenbank.

Angaben zu den darüber hinaus betrachteten Luftschadstoffen finden sich in Kapitel 19.1.3.1 im Anhang.

Die Umrechnung der in [g/kg] vorliegenden Emissionsfaktoren in Angaben mit der Einheit [g/TJ] erfolgt über einen Heizwert in Höhe von 43.000 kJ/kg (AGEB, 2021b).

Für die Berechnung der *CO_2-Emissionen* aus dem Einsatz von ***Flugbenzin*** wird der Standard-Wert gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3: Mobile Combustion übernommen. In diesen Richtlinien (Seite 3-64) werden die *Methan*- und *Lachgas*-Emissionsfaktoren explizit mit den für die Verwendung von Kerosin angegebenen Werten gleichgesetzt. Diese Annahme wird hier übernommen.

Die für NO_X und CO verwendeten impliziten Emissionsfaktoren werden, wie oben für Kerosin beschrieben, aus in TREMOD berechneten und anschließend aufaggregierten Flugzeugtyp-spezifischen Emissionen und dem jährlichen Flugbenzinverbrauch abgeleitet.

CO_2-Emissionen aus der unbeabsichtigten Mitverbrennung von Schmierstoffen werden unter CRF 2.D.1 berichtet. Bezüglich der Freisetzung von Methan und Lachgas wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE *(included elsewhere)* zu berichten ist.

Tabelle 46: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Kerosin: LTO	14,5	2,80 (2,00)	gemäß TREMOD AV, abgeleitet aus EFDB-defaults in kg/LTO
Kerosin: Reiseflug	0,00	2,34 (2,00)	gemäß TREMOD AV, abgeleitet aus EFDB-defaults in kg/t Kerosin
Flugbenzin: LTO	165 (-)	2,30 (-)	gemäß TREMOD AV
Flugbenzin: Reiseflug	0 (-)	2,30 (-)	gemäß TREMOD AV
Schmierstoffe	IE	IE	in EF der Treibstoffe abgebildet

Quellen: Knörr et al. (2021a) und Gores (2021); in Klammern: Defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5

3.2.10.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.a)

Zur Ermittlung der Unsicherheiten werden die einzelnen Komponenten identifiziert, die in die Berechnung der Emissionen einfließen, und deren Unsicherheiten (U_1 bis U_n) quantifiziert. Durch die additive Verknüpfung der quadrierten Teilunsicherheiten ergibt sich jeweils die Gesamtunsicherheit U_{ges} laut IPCC (2006b): Band 1, Kapitel 3, Seite 3.28, Formel 3.1:

$$U_{ges} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \ldots + U_n^2}$$

Die Unsicherheiten wurden für alle Zeitreihen und Flugphasen als Mittelwerte abgeschätzt. Die Berechnung der Gesamt-Unsicherheiten erfolgte wie in Anhang-Kapitel 19.1.3.1.2 dargestellt. In der linken Spalte werden dort die Komponenten der Unsicherheitsberechnung, rechts daneben die Teil-Unsicherheiten aufgeführt. Darauf folgen die Spalten der Werte für die zu bestimmenden Gesamt-Unsicherheiten. Diese stellen zum Teil ebenfalls wieder Einzelkomponenten der Unsicherheitsberechnung eines anderen Wertes dar: Zum Beispiel berechnet sich die Unsicherheit für den nationalen Kerosinverbrauch in den beiden Flugphasen LTO und Cruise aus den Teilunsicherheiten des gesamten nationalen Kerosinverbrauchs sowie der Teilunsicherheit der LTO-Cruise-Aufteilung. Letztere basiert auf der Anzahl der Flugbewegungen nach dem *Statistischen Bundesamt* und den Annahmen zur Flottenaufteilung. Die Gesamt-Unsicherheit des LTO- bzw. Cruise-Kerosinverbrauchs stellt wiederum eine Teilunsicherheit bei der Ermittlung der Unsicherheiten für die Emissionen dar.

3.2.10.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine mit der Zeit steigende Zahl von Flugzeugtypen, für die keine spezifischen Daten verfügbar sind, mussten Emissionsfaktoren mit Hilfe von Regressionen auf Basis des Startgewichts gewonnen werden. Die Verwendung aktuellerer und vollständigerer Flugzeugtyp-

spezifischer Daten würde die Qualität der Berechnungen weiter erhöhen. Auch eine Erweiterung der TREMOD-Berechnung um die Unterscheidung nach verwendeten Antrieben würde eine weitere Verbesserung bedeuten.

Bis auf die Emissionsfaktoren für Schwefeldioxid wurden internationale Standardwerte verwendet, die der IPCC-Emissionsfaktoren-Datenbank bzw. der EMEP/EEA-Datenbank sowie EMEP (2019) entnommen wurden. Eine Diskussion der einzelnen Von Eurocontrol bereitgestellte landesspezifische Verbrauchs- und Emissionsdaten werden derzeit nur zur Verifikation der eigenen Erhebungen herangezogen.

Tabelle 47: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2, CH_4, N_2O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	spezif. Tier 1 default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.4	siehe Tabelle 48
CH_4, N_2O	spezif. Tier 1 default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5	siehe Tabelle 46
CO_2, CH_4, N_2O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 49

Tabelle 48: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten [a], in kg/TJ

	Inventarwert	Default	*Untergrenze*	*Obergrenze*
Kerosin	73.256	71.500	*69.700*	*74.400*
Flugbenzin	70.000		*67.500*	*73.000*

[a] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten.

Tabelle 49: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Kerosin			Flugbenzin		
	CO_2	*CH_4*	*N_2O*	*CO_2*	*CH_4*	*N_2O*
Deutschland	73.256	4,01	2,47	70.000	21,0	2,30
Dänemark	71.874	0,46	3,06	72.475	7,47	2,00
Frankreich	73.488	0,81	2,00	70.500	6,02	2,00
Niederlande	71.500	0,50	2,00	72.000	0,50	2,00
Großbritannien	71.739	1,35	2,28	69.818	57,3	2,23
EU-27	72.669	1,31	2,15	70.359	24,4	4,33

Deutschland: aktuelle IEF für das Berichtsjahr 2020; alle anderen: IEF für 2019 gemäß CRF-Submission 2021

3.2.10.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.a)

Infolge der Revision der im Modell TREMOD AV hinterlegten jährlichen Anteil der Inlandsflüge an den Gesamt-Inlandsablieferungen von Kerosin kommt es gegenüber der Submission 2020 zu Rückrechnungen für alle betrachteten Jahre.

Tabelle 50: revidierte jährl. Anteile der Inlandsflüge an Treibstoff-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kerosin														
Subm. 2022	16,1	12,1	11,8	9,7	8,6	8,2	7,9	7,3	7,3	7,3	7,2	6,8	6,7	6,9
Subm. 2021	16,1	12,1	11,8	9,7	8,6	8,2	7,9	7,3	7,3	7,3	7,2	6,8	6,7	6,9
Änd. abs.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Änd. rel.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,52%
Flugbenzin														
Subm. 2022	79,0	80,9	79,7	78,0	77,3	82,2	81,8	81,9	83,3	81,5	90,6	90,4	91,1	92,1
Subm. 2021	79,9	84,0	82,6	83,8	83,1	86,6	86,6	87,4	88,5	86,7	93,1	92,9	93,6	94,7
Änd. abs.	-0,87	-3,14	-2,94	-5,81	-5,80	-4,39	-4,77	-5,44	-5,26	-5,14	-2,54	-2,49	-2,47	-2,53
Änd. rel.	-1,1%	-3,7%	-3,6%	-6,9%	-7,0%	-5,1%	-5,5%	-6,2%	-5,9%	-5,9%	-2,7%	-2,7%	-2,6%	-2,7%

Quelle: TREMOD AV (Knörr et al., 2021a)

Die durch Inlandsflüge verbrauchten Treibstoffmengen wurden damit in gleichem Maße nach oben korrgiert.

Tabelle 51: resultierende Revision der Inlandsverbräuche, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Flugturbinentreibstoff / Kerosin														
Subm. 2022	9.380	8.303	9.811	9.187	8.589	7.869	8.171	7.633	7.297	7.358	7.844	8.210	8.362	8.476
Subm. 2021	9.380	8.303	9.811	9.187	8.589	7.869	8.171	7.633	7.297	7.358	7.844	8.210	8.362	8.417
Änd. abs.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,42
Änd. rel.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,69%
Flugbenzin														
Subm. 2022	245	119	113	72	57	65	58	52	50	58	47	44	45	37
Subm. 2021	368	346	311	293	236	248	237	234	237	246	234	232	248	229
Änd. abs.	-123	-227	-198	-222	-179	-183	-179	-182	-188	-188	-187	-188	-203	-192
Änd. rel.	-33%	-66%	-64%	-76%	-76%	-74%	-75%	-78%	-79%	-76%	-80%	-81%	-82%	-84%
GESAMT-TREIBSTOFFEINSATZ														
Subm. 2022	9.625	8.422	9.924	9.259	8.646	7.934	8.229	7.686	7.347	7.416	7.891	8.254	8.407	8.513
Subm. 2021	9.748	8.649	10.122	9.481	8.825	8.117	8.408	7.868	7.534	7.604	8.078	8.442	8.610	8.647
Änd. abs.	-123	-227	-198	-222	-179	-183	-179	-182	-188	-188	-187	-188	-203	-134
Änd. rel.	-1,3%	-2,6%	-2,0%	-2,3%	-2,0%	-2,3%	-2,1%	-2,3%	-2,5%	-2,5%	-2,3%	-2,2%	-2,4%	-1,5%

Quelle: eigene Berechnungen

Die relativen Änderungen der berichteten Treibhausgas-Emissionen entsprechen weitestgehend denen der Treibstoffverbräuche. Einzige Ausnahme ist hier das Methan: Da davon ausgegangen wird, das während des Reiseflugs keine entsprechenden Emissionen entstehen, wirkt sich die Herabsetzung der LTO-Verbräuche überproportional stark aus.

Tabelle 52: revidierte Methan-Emissionsfaktoren 2019 im LTO-Zyklus, in kg / TJ

	Kerosin	Flugbenzin
Submission 2022	10,15	164,89
Submission 2021	10,80	164,95
Änderung absolut	-0,65	-0,06
Änderung relativ	-6,04%	-0,03%

Tabelle 53: revidierte THG-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid - CO_2														
Subm. 2022	2.411	2.133	2.635	2.474	2.308	2.117	2.171	2.035	1.957	1.977	2.070	2.150	2.181	2.229
Subm. 2021	2.412	2.136	2.637	2.477	2.311	2.119	2.173	2.037	1.958	1.979	2.071	2.151	2.181	2.218
Änd. abs.	-1,49	-2,51	-2,30	-2,84	-2,30	-1,89	-1,86	-1,89	-1,74	-1,99	-0,73	-0,70	-0,67	11,0
Änd. rel.	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
Methan - CH_4														
Subm. 2022	0,11	0,08	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
Subm. 2021	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13
Änd. abs.	-0,02	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04
Änd. rel.	-15%	-31%	-25%	-29%	-26%	-28%	-27%	-28%	-28%	-28%	-27%	-25%	-27%	-28%
Lachgas - N_2O														
Subm. 2022	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
Subm. 2021	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Änd. abs.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änd. rel.	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
Gesamt-Treibhausgase														
Subm. 2022	2.438	2.157	2.663	2.501	2.334	2.140	2.194	2.058	1.978	1.999	2.093	2.174	2.205	2.254
Subm. 2021	2.440	2.160	2.666	2.505	2.337	2.143	2.197	2.060	1.981	2.001	2.095	2.175	2.206	2.244
Änd. abs.	-1,98	-3,44	-3,10	-3,76	-3,03	-2,63	-2,58	-2,63	-2,49	-2,75	-1,47	-1,44	-1,50	10,2
Änd. rel.	-0,1%	-0,2%	-0,1%	-0,2%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,5%

Quelle: eigene Berechnungen

3.2.10.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.a)

Nach der erfolgten grundlegeden Revision des Modells TREMOD AV sind vorerst keine größeren Arbeiten geplant. Das Hauptaugenmerk liegt nunmehr auf der regelmäßigen Aktualisierung des Modells anhand des von der Europäischen Organisation zur Sicherung der Luftfahrt Eurocontrol betriebenen *Advanced Emission Model* (AEM)[29].

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.10.2 Transport - Straßenverkehr (1.A.3.b)

3.2.10.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	151.886,3	11,9%	141.282,7	19,7%	-7,0%
-/T	1 A 3 b, Road Transport		CH4	1.561,1	0,1%	208,6	0,0%	-86,6%
-/T	1 A 3 b, Road Transport		N2O	1.343,5	0,1%	1.642,2	0,2%	22,2%

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1 [a], CS (Tier 2)	NS / M	D [a], CS
CH_4	Tier 1 [b], CS (Tier 3)	NS / M	D [b], CS (M)
N_2O	Tier 1 [b], CS (Tier 3)	NS / M	D [b], CS (M)
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 3)	NS / M	CS (M)

[a] Biodiesel, Petroleum, in Zweitaktern mitverbrannte Schmierstoffe; [b] Flüssiggas

Die Kategorie *Straßenverkehr* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend, für CH_4- & N_2O-Emissionen nur nach dem Trend.

In der genannten Kategorie werden die Emissionen aus dem motorisierten Straßenverkehr in Deutschland berichtet. Berücksichtigt ist der Verkehr auf öffentlichen Straßen im Inland ohne den land- und forstwirtschaftlichen sowie den militärischen Verkehr. Die Berechnungen erfolgen für die Fahrzeugkategorien Personenkraftwagen (PKW), motorisierte Zweiräder (MZR), leichte Nutzfahrzeuge (LNF), schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Busse. Diese werden für die Berechnung in so genannte *Fahrzeugschichten* mit gleichem Emissionsverhalten untergliedert. Hierzu werden die Fahrzeugkategorien zusätzlich nach der Art des verwendeten Kraftstoffs, der Fahrzeuggröße (Nutzfahrzeuge und Busse nach ihrer Gewichtsklasse; motorisierte Zweiräder nach ihrem Hubraum) und der eingesetzten Schadstoffminderungstechnik gemäß den EU-Richtlinien zur Abgasgesetzgebung („EURO-Normen“) sowie des regionalen Fahraufkommens (außerorts, innerorts und Autobahn) differenziert.

3.2.10.2.2 Methodische Aspekte (1.A.3.b)

- siehe auch Kapitel 19.1.3.2 -

Durch Einführung des Katalysators und motortechnischen Verbesserungen infolge der kontinuierlichen Verschärfung der zulässigen Abgaswerte sowie durch verbesserte Kraftstoffqualitäten sind die Emissionen aus dem Straßenverkehr an CH_4, NO_X, CO, NMVOC und SO_2 seit 1990 drastisch zurückgegangen.

Die starke Abnahme des Methan-Emissionsfaktors für Benzin und damit auch der Methan-Emissionen zwischen 1990 und 1993 ist insbesondere auf die massive Reduzierung der Kraftfahrzeuge mit Zweitaktmotoren in den neuen Bundesländern zurückzuführen. Weitere Minderungen sind Folge der genannten Abgas-Grenzwertverschärfungen.

[29] https://www.eurocontrol.int/model/advanced-emission-model

Für Busse und schwere Nutzfahrzeuge (über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) wurde der zulässige Abgasgrenzwert für Kohlenwasserstoffe (HC) mit Einführung der EURO III-Norm im Jahr 2000 erheblich gesenkt (-40 %). Da EURO III-Fahrzeuge ab dem Jahr 2000 sehr schnell in den Markt kamen, verminderten sich der Emissionsfaktor und die Emissionen für Kohlenwasserstoffe aus Dieselkraftstoff nach 2000 deutlich. Dies gilt analog für Methan, das als fester Anteil an den Gesamt-HC-Emissionen berechnet wird.

N_2O-Emissionen entstehen hauptsächlich infolge unvollständiger Reduktion von NO zu N_2 im 3-Wege-Katalysator und sind gesetzlich nicht limitiert. Durch die wachsende Zahl von PKW mit Katalysator stiegen die N_2O-Emissionen gegenüber 1990 zunächst an. Neuere Katalysatoren sind jedoch so optimiert, dass nur noch geringe Mengen an Distickstoffoxid entstehen. Infolgedessen nahmen die N_2O-Emissionen im Zeitraum 2000-2006 ab. Seit dem ist wieder ein Anstieg der Emissionen zu verzeichnen. Dieser ist auf den zunehmenden Einsatz der SCR-Technik bei schweren Nutzfahrzeugen zurückzuführen, bei dem unter bestimmten Bedingungen N_2O als unerwünschtes Nebenprodukt auftritt.

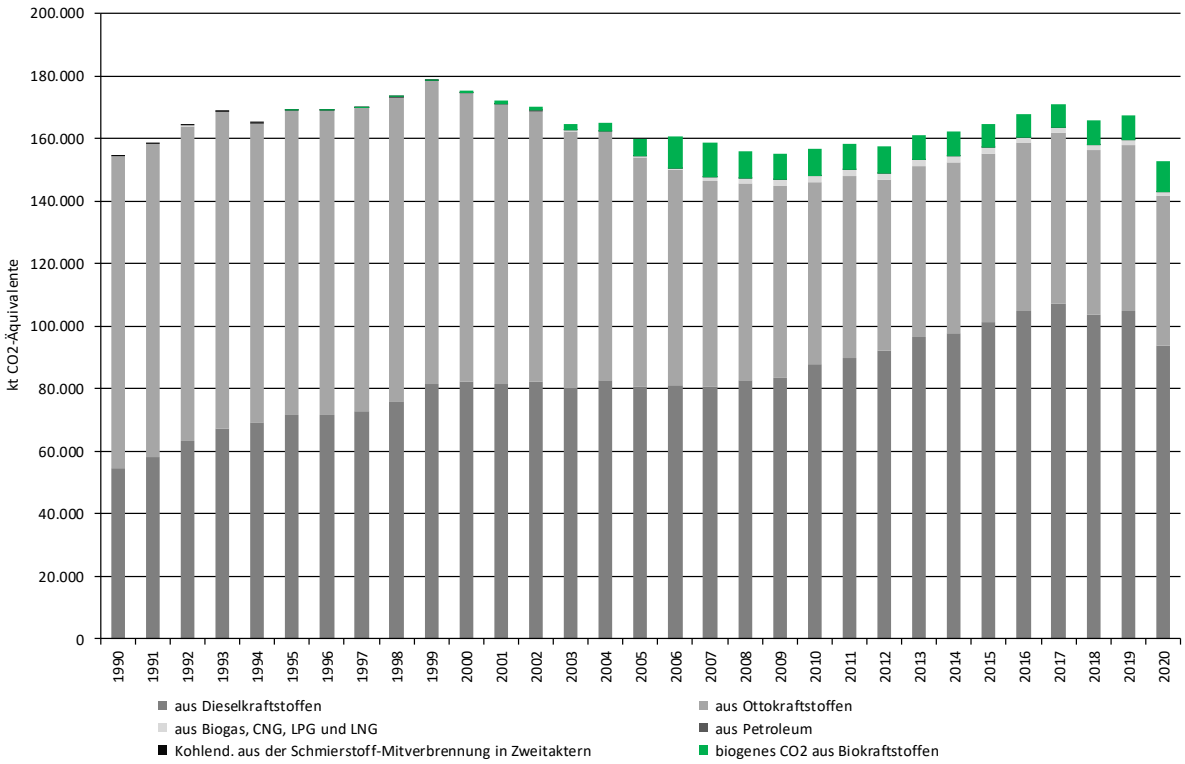
Die CO_2-Emissionen sind direkt vom Kraftstoffverbrauch abhängig. Der Anstieg der Emissionen zwischen 1990 und 1999 ist dadurch begründet, dass die fahrzeugspezifischen Verbrauchsminderungen durch den Zuwachs der Fahrleistungen überkompensiert wurden. Im Zeitraum 2000-2009 sind die Emissionen des Straßenverkehrs aus fossilen Kraftstoffen erstmals gesunken. Diese Entwicklung dürfte im Wesentlichen auf die Verringerung der spezifischen Kraftstoffverbräuche, die deutliche Verschiebung zugunsten von Dieselfahrzeugen bei den Neuzulassungen, den kontinuierlichen Anstieg der Kraftstoffpreise, die Verwendung von Biokraftstoffen, aber auch auf die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland zurückzuführen sein (s. folgende Absätze).

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Da sich die oben genannten Trends abschwächten und gleichzeitig die Fahrleistungen zunahmen, stiegen in den Jahren 2010 und 2011 die CO_2-Emissionen wieder an, bevor sie im Jahr 2012, dank abnehmender Verkehrs- und Fahrleistungen, um über 1,3 Mio. t zurückgingen. Ein Wiederanstieg der Fahrleistungen, ein Rückgang der eingesetzten Biokraftstoffe sowie eine seit Jahren stetig zu-nehmende durchschnittliche Motorleistung bei Pkw-Neuzulassungen führten jedoch dazu, dass die CO_2-Emissionen bis 2019 wieder um 7 % angestiegen und damit um 5,6 Mio. t über dem Emissionsniveau von 1990 lagen.

Der Großteil des für das Jahr 2020 zu beobachtenden deutlichen Rückgangs wird den Auswirkungen der Pandemie und dem in der Folge geänderten Mobilitätsverhalten zugeschrieben. Einen vergleichsweise geringen Beitrag leisten hier aber auch die gesteigerten Anteile von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen sowie eine gegenüber dem Vorjahr erhöhte Biokraftstoffquote.

Abbildung 30: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Straßenverkehrs seit 1990



Die Berechnung der CO_2-Emissionen aus dem motorisierten Straßenverkehr in Deutschland erfolgt durch einen tier2-„*bottom up*"-Ansatz gemäß (IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.2, Seite 3.12): Die in Deutschland verkauften Kraftstoffe (Benzin, Bio-Ethanol, Diesel, Biodiesel, Flüssig- und Erdgas, Petroleum (bis 2002), Biogas) werden dazu innerhalb des Modells TREMOD („Transport Emission Model") auf die einzelnen Fahrzeugschichten verteilt (vgl. Kapitel 19.1.3.2) (Knörr et al., 2021c)[30]. Die in das Modell einfließenden Verbrauchsdaten je Kraftstoffart werden den *Energiebilanzen* entnommen. Die eigentliche Emissionsberechnung erfolgt nach Import der spezifischen Kraftstoffverbräuche und Emissionsfaktoren im ZSE.

Die Berechnung der Nicht-CO_2-Emissionen basiert auf einem in TREMOD implementierten Tier 3-Verfahren, bei dem Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugschichten mit spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert werden. Für PKW und leichte Nutzfahrzeuge wird zusätzlich ein „*Kaltstart-Zuschlag*" addiert. Der je Kraftstoffart ermittelte Gesamtverbrauch wird mit dem Verbrauch gemäß Energiebilanz abgeglichen und die in TREMOD berechneten Emissionen werden mit aus diesem Abgleich abgeleiteten Korrekturfaktoren korrigiert. Für benzingetriebene Fahrzeuge werden in Abhängigkeit von der Minderungstechnik VOC-Verdampfungsemissionen berechnet. Aus Emissionen und Kraftstoffverbräuchen der einzelnen TREMOD-Fahrzeugschichten werden kraftstoffbezogene nur nach Kraftstoff– und Straßenart (Autobahn, Landstraße, Innerortsstraße) differenzierte implizite Emissionsfaktoren (IEF) in [kg/TJ] abgeleitet und an das ZSE übergeben.

Die eigentliche Emissionsberechnung erfolgt nach Import der spezifischen Kraftstoffverbräuche und impliziten Emissionsfaktoren im ZSE.

[30] Um Minderungsmaßnahmen ableiten und bewerten zu können, werden mit TREMOD auch der Energieverbrauch und die CO_2-Emissionen der einzelnen Fahrzeugkategorien berechnet. Die Werte werden anschließend mit dem Gesamtverbrauch und der Gesamtemission an CO_2 abgeglichen.

Tabelle 54: Emissionen des Straßenverkehrs, in Kilotonnen

	CO_2		CH_4	N_2O	NO_x	CO	NMVOC [c]	SO_2
	fossil [a]	*biogen* [b]						
1990	151.886	0	62,4	4,51	1.306	7.324	1.479	72,2
1995	166.451	106	30,9	6,30	1.156	4.199	682	69,3
2000	172.541	869	19,3	5,65	1.000	2.488	346	19,7
2005	153.040	5.591	12,8	3,32	798	1.594	202	0,80
2010	146.752	8.530	9,36	3,77	650	1.196	124	0,78
2015	155.314	7.538	8,55	5,02	579	1.059	97,0	0,81
2016	158.429	7.561	8,80	5,33	556	1.034	94,7	0,83
2017	161.491	7.706	9,15	5,65	527	1.015	93,1	0,85
2018	155.928	8.024	8,93	5,64	471	954	87,3	0,82
2019	157.437	7.985	8,97	5,85	436	926	87,3	0,83
2020	141.283	9.649	8,35	5,51	355	780	82,2	0,75

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf Knörr et al. (2021c)

[a] inklusive CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe sowie in Zweitaktern mitverbrannten Schmierstoffen

[b] CO_2-Emissionen aus den biogenen Anteilen der eingesetzten Bio-Kraftstoffen (hier nur nachrichtlich aufgeführt)

[c] inklusive Emissionen aus der Kraftstoffverdunstung

Für die Berechnung mit TREMOD werden zahlreiche **Basisdaten** aus allgemein zugänglichen Statistiken und speziellen Untersuchungen verwendet, aufeinander abgestimmt und ergänzt. Hauptquellen sowie wichtige Annahmen sollen hier nur kurz vorgestellt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Datengrundlagen einschließlich Angaben der verwendeten Quellen sowie der in TREMOD verwendeten Berechnungsmethoden liegt in Knörr et al. (2021c) vor.

Für Westdeutschland ab 1990 bis 1993 sowie für Deutschland ab 1994 werden die ***Kfz-Bestandsdaten*** aus der offiziellen Bestands- und Neuzulassungsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) abgeleitet. Basis der Bestandsanalyse für Ostdeutschland im Jahr 1990 waren eine detaillierte Analyse der Abgas-Prüfstelle Adlershof im Jahr 1992 sowie die Zeitreihen in den statistischen Jahrbüchern der DDR. Zwischen 1991 und 1993 musste der Bestand mit Hilfe zahlreicher Annahmen geschätzt werden.

Die Bestandsdaten der Bezugsjahre ab 2001 stehen für TREMOD als Ergebnis einer Datenbankabfrage beim KBA zur Verfügung. Diese liefert die Fahrzeugbestände pro Bezugsjahr in der für die Emissionsberechnung notwendigen Gliederung nach den Merkmalen: Antriebsart (Otto, Diesel, sonstige), Größenklasse, Fahrzeugalter und Emissionsstandard. Als repräsentativ für die Flottenzusammensetzung eines Bezugsjahres wird der Bestand zur Jahresmitte angenommen.

Die Fortschreibung der ***Fahrleistungen*** wird auf Basis der „Fahrleistungserhebung 2014“, der Straßenverkehrszählung 2015 und Daten des Kraftfahrtbundesamtes (Jamet & Knörr, unveröffentlicht) vorgenommen. Für schwere Nutzfahrzeuge erfolgt darüber hinaus ein Abgleich mit den Daten der Maut-Statistik.

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Während für alle anderen Kraftstoffe über alle Jahre einheitliche Werte zum Einsatz kommen, stehen für Ottokraftstoffe und Erdgas anhand der in Deutschland produzierten Qualitäten gewichtete jahresspezifische Werte zur Verfügung. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoffmitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 19.1.4.

Alle weiteren Emissionsfaktoren sind im „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA) hinterlegt, das zunächst im Rahmen einer Kooperation von Deutschland, Schweiz und Österreich zur Ableitung von Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr entstand, und entstammen überwiegend den Messprogrammen des TÜV Rheinland und des RWTÜV sowie grundlegenden Untersuchungen für die Bezugsjahre 1989/1990. In diesen Untersuchungen wurde für

PKW und schwere Nutzfahrzeuge eine neue Methodik angewandt, bei der von Fahrverhalten und Verkehrssituation abhängige Faktoren abgeleitet wurden. Die Emissionsfaktoren für PKW bis zum Baujahr 1994 wurden mit Hilfe von Daten aus einer Feldüberwachung fortgeschrieben. Mittlerweile beteiligen sich auch die Niederlande, Schweden und Norwegen an der Entwicklung von HBEFA. Die für die aktuellen Emissionsberechnungen verwendete HBEFA-Version 4.1 (Notter et al., 2019) geht auf Untersuchungsergebnisse aus dem EU-Arbeitskreis COST 346, Messprogrammen der beteiligten Länder und dem Forschungsprogramm ARTEMIS zurück.

Bezüglich der *unbeabsichtigten* Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass die Nicht-CO_2-Emissionen bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe abgebildet und hier als IE *(included elsewhere)* zu berichten sind. Kohlendioxid aus der *unbeabsichtigten* Schmierstoff-Mitverbrennung wird dagegen als Emissionen aus der Produktanwendung unter 2.D.1 berichtet. Im Gegensatz dazu wird Kohlendioxid aus der *gewollten* Mitverbrennung von Schmierstoffen als Teil des in Straßen-Zweitaktern eingesetzten Kraftstoffgemisches ebenfalls dem Straßenverkehr zugerechnet und in den CRF-Tabellen unter 1.A.3.b v berichtet.

Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland

Aufgrund eines teilweise starken Preisgefälles zu mehreren Nachbarstaaten werden hierzulande seit längerem aber auch Kraftstoffe eingesetzt, die jenseits der Grenzen gekauft und als Grauimporte nach Deutschland eingeführt werden.

Zum Umfang dieses in erster Linie für den Güterverkehr und den Pkw-Verkehr für die grenznahen Regionen Deutschlands bedeutenden und als „Tanktourismus“ bezeichneten Phänomens können keine genauen Angaben gemacht werden. Ein belastbares Gesamtbild existiert trotz mehrerer Detailuntersuchungen nicht (Lenk et al., 2004; Tietge et al., 2020).

Belegt wird die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland (und der damit verbundene negative Einfluss auf die Emissionsinventare der Nachbarstaaten) unter anderem auch durch eine vom österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft veröffentlichte Studie (Molitor et al., 2004). Die Nachbarstaaten profitieren allerdings nicht unerheblich von Steuermehreinnahmen aus der Energiebesteuerung dieser Treibstoffe.

3.2.10.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.b)

Im Rahmen eines Gutachtens (Knörr et al., 2009) wurden die Unsicherheiten der in TREMOD einfließenden Aktivitätsdaten, der darin erzeugten Emissionsfaktoren und der im Zentralen System Emissionen (ZSE) berechneten Emissionen ermittelt.

3.2.10.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.b)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AGEB vor. Außerdem wurde eine Dokumentation zur Überarbeitung der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 im Internet veröffentlicht[31].

[31] AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05 (Aufruf vom 18.09.2013)

Tabelle 55: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2, CH_4, N_2O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	spezif. Tier1-defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3, Tabelle 3.2.1	keine Defaults für Biokraftstoffe und Petroleum
CO_2	Tier1-defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3, Tab. 2.4	siehe Tabelle 56
CH_4, N_2O	spezif. Tier1-defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3, Tabelle 3.2.2	Ergebnisse kaum aussagekräftig
CH_4, N_2O	Tier1-defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 2.4	Ergebnisse kaum aussagekräftig
CO_2, CH_4, N_2O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 57

Tabelle 56: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten, in kg/TJ

	Inventarwert [a]	Default [b]	Untergrenze	Obergrenze
fossile Dieselkraftstoffe	74.027	74.100	72.600	74.800
fossile Ottokraftstoffe	75.276	69.300	67.500	73.000
Erdgas	55.826	56.100	54.300	58.300
Flüssiggas	66.334	63.100	61.600	65.600
Flüssigerdgas (LNG)	55.944	-	-	-
Petroleum	74.000	-	-	-
mitverbrannte Schmierstoffe	73.300		71.900	75.200
Biodiesel	70.800		59.800	84.300
Bioethanol	71.607	70.800	59.800	84.300
Biogas	90.584	54.600	46.200	66.000

[a] verwendet für das Berichtsjahr 2020; [b] gemäß IPCC (2006b): Kapitel 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie den sich für die EU(28) ergebenden Werten.

Tabelle 57: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Ottokraftstoff			Dieselkraftstoff			Flüssiggas			Erdgas		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	75.276	8,78	0,48	74.027	1,69	3,85	66.334	3,73	1,12	55.826	15,9	0,26
Dänemark	72.982	5,47	0,71	73.997	0,36	3,41	63.100	5,31	1,05	56.800	26,0	2,93
Frankreich	74.538	12,4	1,17	74.883	0,31	2,50	65.254	18,7	1,09	56.349	47,0	0,02
Niederlande	73.023	12,0	0,74	72.454	0,47	2,81	66.700	2,17	0,84	56.600	92,0	3,00
Großbritannien	70.214	7,08	0,66	73.838	0,25	3,46	63.886	0,88	0,62	IE	IE	IE
EU-27	72.782	10,6	0,84	74.040	0,95	3,07	65.267	9,50	0,36	56.942	36,3	4,98

Deutschland: aktueller IEF für 2020; sonst: IEF für 2019 gemäß CRF-Submission 2021

Der vergleichsweise hohe Emissionsfaktor für Kohlendioxid aus Ottokraftstoffen resultiert aus einer Anpassung. Der entsprechende Emissionsfaktor in [kg CO_2 / kg Kraftstoff] entspricht dagegen den internationalen Vergleichswerten.

3.2.10.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.b)

Gegenüber der Submission 2021 erfolgten Rückrechnungen sowohl aufgrund revidierter Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren.

Dabei wurden die zuletzt vorläufigen Angaben der Energiebilanz 2019 durch finale Werte ersetzt.

Tabelle 58: revidierte Energieeinsätze 2019, in Terajoule

	Diesel	Biodiesel	Benzin	Biobenzin	Erdgas	LPG	LNG	Biogas	Schmierst.*
Submission 2022	1.390.837	79.219	699.835	30.184	5.848	14.602	697	2.378	76,25
Submission 2021	1.392.585	79.291	699.936	30.188	5.198	17.332	703	2.378	81,82
Änderung absolut	-1.748	-72,2	-101	-4,10	650	-2.730	-6,16	0,00	-5,57
Änderung relativ	-0,13%	-0,09%	-0,01%	-0,01%	12,5%	-15,8%	-0,88%	0,00%	-6,81%

Quelle: Knörr et al. (2021c) basierend auf AGEB (2021b) und (MWV, 2021b)
Schmierst.: als Teil von Zweitaktergemisch 1:50, verbrannt in Zweitakt-Ottomotoren

Veränderungen an den spezifischen Tier-3-Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas erfolgten analog zu Anpassungen in TREMOD. Eine sinnvolle Darstellung dieser revidierten Datensätze ist hier nicht möglich.

Die nachfolgende Tabelle liefert abschließend einen Vergleich der aktuellen und mit Submission 2021 berichteten Emissionsmengen.

Tabelle 59: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.3.b i - PKW										
Submission 2022	114.752	117.271	113.960	104.796	95.178	99.526	101.541	103.759	99.513	99.861
Submission 2021	114.752	117.271	113.960	104.796	95.178	99.523	101.556	103.743	99.465	99.960
Änderung	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,61	2,18	-15,2	16,0	48,0	-98,7
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,02%	0,05%	-0,10%
1.A.3.b ii - Leichte Nutzfahrzeuge										
Submission 2022	4.024	6.410	8.313	8.532	8.407	10.080	10.712	11.380	11.384	11.722
Submission 2021	4.024	6.410	8.313	8.532	8.407	10.089	10.730	11.406	11.448	11.845
Änderung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,74	-17,6	-26,0	-63,7	-123
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,09%	-0,16%	-0,23%	-0,56%	-1,04%
1.A.3.b iii - schwere Nutzfahrzeuge (inkl. Busse)										
Submission 2022	34.137	43.928	50.620	39.274	43.050	46.006	46.551	46.801	45.530	46.404
Submission 2021	34.137	43.928	50.620	39.274	43.049	45.998	46.516	46.752	45.512	46.458
Änderung	0,04	0,15	0,06	0,02	0,78	7,62	35,3	48,6	18,0	-53,6
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,08%	0,10%	0,04%	-0,12%
1.A.3.b iv - motorisierte Zweiräder										
Submission 2022	1.695	1.459	1.806	1.742	1.468	1.406	1.428	1.456	1.399	1.412
Submission 2021	1.695	1.459	1.806	1.742	1.468	1.407	1.431	1.461	1.407	1.427
Änderung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,32	-2,44	-4,12	-7,96	-15,6
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,09%	-0,17%	-0,28%	-0,57%	-1,10%
CO_2 aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitaktern										
Submission 2022	183	32,8	5,90	5,64	5,97	5,65	5,67	5,65	5,54	5,59
Submission 2021	183	32,8	5,90	5,64	5,97	5,66	5,68	5,67	5,87	6,00
Änderung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,33	-0,41
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,09%	-0,17%	-0,28%	-5,61%	-6,81%
1.A.3.b - GESAMT-TREIBHAUSGASEMISSIONEN										
Submission 2022	154.791	169.100	174.706	154.351	148.108	157.023	160.238	163.403	157.831	159.404
Submission 2021	154.791	169.100	174.706	154.351	148.108	157.023	160.238	163.368	157.837	159.696
Änderung	0,04	0,15	0,06	0,02	0,17	-0,18	0,13	34,6	-5,88	-292
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	-0,18%

Quelle: eigene Berechnungen

Verglichen mit dem Gesamttsektor Straßenverkehr fallen die Rückrechnungen für die einzelnen Segmente (PKW, LNF, SNF, Zweiräder) teilweise erheblich aus. Ursächlich hierfür sind eine veränderte Fahrleistungs- und Verbrauchsmodellierung innerhalb TREMOD.

3.2.10.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.b)

Abgesehen von der alljährlichen Revision des Modells TREMOD sind keine quellenspezifischen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.10.3 Transport - Schienenverkehr (1.A.3.c)

3.2.10.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 3 c, Railways**	**fossil fuels**	**CO2**	**3.122,1**	**0,2%**	**783,1**	**0,1%**	**-74,9%**
-/-	1 A 3 c, Railways		CH4	17,6	0,0%	0,3	0,0%	-98,5%
-/-	1 A 3 c, Railways		N2O	7,7	0,0%	2,0	0,0%	-74,3%

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1 [a], CS (Tier 2)	NS	D [a], CS
CH_4	CS (Tier 2)	NS	D [b, c, d]
N_2O	CS (Tier 2)	NS	D [d], CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 2)	NS	CS

[a] Biodiesel: gemäß (IPCC (2006b): Tab. 2.4); [b] Diesel: gemäß (EMEP (2019): 1.A.3.c – *Railways*; Tab. 3-2 bis 3-4); [c] Steinkohle & Steinkohlekoks: gemäß (IPCC (2006b): Tab. 3.4.1); [d] Braunkohlen: gemäß (IPCC (2006b): Tab. 2.5)

Die Kategorie *Schienenverkehr* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

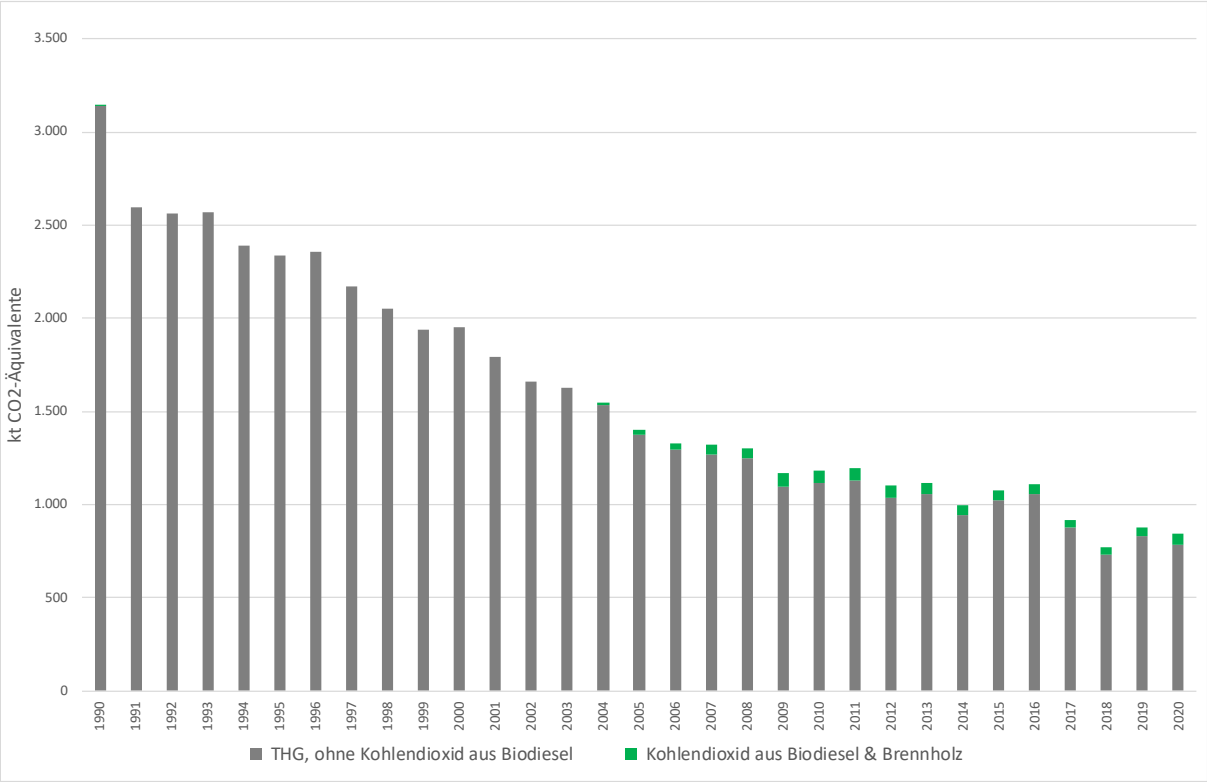
Der Schienenverkehr in Deutschland wird langfristig mit dem Ziel modernisiert, als Energieform v.a. elektrischen Strom zu nutzen. Dessen Anteil an der zur Traktion eingesetzten Energie liegt aktuell bei etwa 78 % (AGEB, 2021b). Die betriebenen Bahnstrom-Kraftwerke sind dem stationären Anteil der Stromerzeugung in öffentlichen Kraftwerken (1.A.1.a) zugeordnet und werden hier nicht weiter betrachtet.

Für die Energieversorgung spielt neben elektrischem Strom nur noch Dieselkraftstoff eine bedeutende Rolle. In Form von Beimengungen kommt seit 2004 zudem Biodiesel zum Einsatz.

In historischen Fahrzeugen werden darüber hinaus geringe Mengen fester Brennstoffe verwendet.

Der Einsatz weiterer Energieträger speziell in privaten Kleinbahnen, z.B. Pflanzenöle oder Gas, wird bisher nicht erfasst und ist als vernachlässigbar anzusehen.

Abbildung 31: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs, seit 1990



* ohne Treibhausgase aus der Erzeugung von Bahnstrom und CO_2 aus der unbeabsichtigten Mitverbrennung von Schmierstoffen

3.2.10.3.2 Methodische Aspekte (1.A.3.c)

Die Emissionen werden als Produkt aus den verbrauchten Kraft- und Brennstoffen und landesspezifischen Emissionsfaktoren berechnet. Dieses Vorgehen entspricht der allgemeinen Tier 2-Methode und der prinzipiellen Berechnungsvorschrift nach Gleichung 3.4.2 der IPCC Guidelines 2006 (Band 2, Seite 3.42).

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden mit dieser Berichterstattung erstmals separat ausgewiesen und den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Die **Aktivitätsraten** (Energieeinsätze) werden grundsätzlich den Energiebilanzzeilen 74 (bis 1994) bzw. 64 (ab 1995) (AGEB, 2021b) entnommen. Abweichend davon liegen aus methodischen Gründen den Jahren 2005 bis 2009 Absatzzahlen des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV) zugrunde, die im Jahresbericht Mineralöl-Zahlen (Tabelle „Sektoraler Verbrauch von Dieselkraftstoff“) veröffentlicht werden (MWV, 2021b).[32]

Die Berechnung der jährlich eingesetzten Biodiesel-Mengen erfolgt aufgrund mangelhafter statistischer Daten bis auf weiteres anhand der offiziellen Beimengungsraten.

Auswertbare Verbrauchsdaten für Festbrennstoffe sind in den offiziellen Energiebilanzen für Braunkohle lediglich bis 2002, für Steinkohle bis 2000 verfügbar. Hier wird ergänzend auf

[32] AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05 (Aufruf vom 04.11.2014)

Ergebnisse dreier in 2012, 2016 und 2021 erfolgter Erhebungen (Hasenbalg & Sohnke, 2021; Hedel & Kunze, 2012; Illichmann, 2016) sowie Inter- und Extrapolationen zurückgegriffen.

Tabelle 60: Überblick der verwendeten Statistiken und sonstigen Quellen

Kraft- / Brennstoff	verwendete Quelle(n)
Diesel	bis 2004: AGEB; 2005-2009: MWV; ab 2010: AGEB
Biodiesel	berechnet gemäß offizieller Beimengungsraten
Steinkohle	bis 1994: AGEB; 1995-2004: Interpolation; ab 2005: Erhebung
Steinkohlekoks	bis 1997: AGEB; 1998-2004: Interpolation; ab 2005: Erhebung
Rohbraunkohle	bis 2002: AGEB; danach nicht mehr eingesetzt
Braunkohlenbriketts	bis 2002: AGEB; bis 2014: Interpolation; ab 2015: Erhebung

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte gemäß (Knörr et al. (2021c): Flüssigkraftstoffe) bzw. Default-Werte gemäß (IPCC (2006b): Festbrennstoffe) zum Einsatz. Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE *(included elsewhere)* zu berichten ist.

Tabelle 61: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Diesel & Biodiesel	0,87 (4,15)	0,56 (28,60)	CH_4: gemäß Knörr et al. (2021c); N_2O: tier2 default nach EMEP (2019)
Rohbraunkohle	300 (-)	1,50 (-)	*in 2020 nicht eingesetzt*
Braunkohlebriketts	300 (-)	1,50 (-)	abgeleitet von stationärer Kleinfeuerung
Steinkohle(koks)	2,00 (2,00)	1,50 (1,50)	Sektor-spezifische IPCC-defaults für *„sub-bituminous coal“*
Brennholz	100	1,00	abgeleitet von stationärer Kleinfeuerung
Schmierstoffe	IE	IE	bereits in den EF der flüssigen Kraftstoffe abgebildet

in Klammern: Sektor-spezifische Vorgabe-Werte gemäß IPCC (2006b), Band 2, Kap. 3.4 - *Railways*

3.2.10.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.c)

Im Rahmen eines Gutachtens (Knörr et al., 2009) wurden die Unsicherheiten der in TREMOD einfließenden Aktivitätsdaten, der darin erzeugten Emissionsfaktoren und der im Zentralen System Emissionen (ZSE) berechneten Emissionen ermittelt.

Die Aktivitätsraten-Zeitreihen für Braunkohlenbriketts, Steinkohle und Steinkohlenkoks weisen durch die Umstellung der Statistiken 1994/1995 Inkonsistenzen auf, die nicht beseitigt werden können.

3.2.10.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.c)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AGEB vor. Außerdem wurde eine Dokumentation zur Überarbeitung der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 im Internet veröffentlicht.

Tabelle 62: Übersicht relevanter Vergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2, CH_4, N_2O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	spezif. Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3.4, Tab.	nicht für alle relevanten Brennstoffe
CO_2	Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	siehe Tabelle 56
CH_4, N_2O	spezif. Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3.4, Tab.	siehe Tabelle 61
CH_4, N_2O	Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	Ergebnisse kaum aussagekräftig
CO_2, CH_4, N_2O	IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 64

Tabelle 63: Vergleich der verwendeten EF (CO_2) mit Default-Werten [a], in kg/TJ

	Inventarwert [b]	Default	*Untergrenze*	*Obergrenze*
fossiler Dieselkraftstoff	74.027	74.100	*72.600*	*74.800*
Braunkohlebriketts	99.212	97.500	*87.300*	*109.000*
Rohbraunkohle	105.953	101.000	*90.900*	*115.000*
Steinkohle	93.572	94.600	*89.500*	*99.700*
Steinkohlekoks	108.317	107.000	*95.700*	*119.000*
Biodiesel	70.800		*59.800*	*84.300*

[a] für das Berichtsjahr 2020; [b] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tab. 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie den sich für die EU(28) ergebenden Werten.

Tabelle 64: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	fossile Flüssigbrennstoffe			fossile Festbrennstoffe		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland [a]	74.027	0,87	0,56	93.603	3,08	1,50
Dänemark	74.000	1,08	2,24	NO	NO	NO
Frankreich	74.885	10,6	2,95	IE	IE	IE
Niederlande	72.454	4,26	0,56	NO	NO	NO
Großbritannien	74.938	1,51	2,84	96.100	87,6	0,70
EU-27	74.111	3,24	11,6	95.077	48,4	1,10

Quellen: [a] IEF für das Berichtsjahr 2020; sonst: IEF für 2019 gemäß CRF-Submission 2021

3.2.10.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.c)

Gegenüber der Submission 2021 erfolgten Rückrechnungen fast ausschließlich aufgrund revidierter bzw. neu erfasster Aktivitätsdaten.

Dabei wurden die zuletzt vorläufigen Energieeinsätze für Dieselkraftstoff durch finale Werte für 2019 ersetzt, was eine entsprechende Korrektur für beigemengten Biodiesel zur Folge hat. Gleichzeitig wurden die offiziellen Beimengungsraten für Biodiesel ab 2004 korrigiert. Vor allem aber kam es über alle Jahre hinweg zu einer Revision der erfassten Festbrennstoff-Mengen.

Tabelle 65: Korrektur der Kraft- und Brennstoffeinsätze, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
					Dieselkraftstoff					
Submission 2022	38.458	31.054	25.410	18.142	14.626	13.321	13.775	11.344	9.425	10.747
Submission 2021	38.458	31.054	25.410	18.142	14.626	13.321	13.775	11.344	9.425	9.531
Änderung absolut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.216
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,8%
					Biodiesel					
Submission 2022				401	957	727	729	606	548	612
Submission 2021				401	957	727	729	606	548	543
Differenz absolut				0	0	0	0	0	0	69
Differenz relativ				0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,8%
					Steinkohle					
Submission 2022	576	232	223	267	324	351	361	367	365	362
Submission 2021	576	250	250	255	314	339	340	340	340	340
Differenz absolut	0	-18	-27	12	9	12	21	27	25	22
Differenz relativ	0,00%	-7,12%	-10,7%	4,88%	3,01%	3,46%	6,19%	7,85%	7,39%	6,37%
					Steinkohlekoks					
Submission 2022	200	86	1,33	0,79	0,79	0,66	0,63	0,46	0,46	0,43
Submission 2021	NE	86	1,33	0,79	0,79	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Differenz absolut	200	0	0,00	0,00	0,00	-0,09	-0,12	-0,29	-0,29	-0,32
Differenz relativ		0,00%	0,0%	0,00%	0,00%	-12,2%	-15,7%	-38,7%	-38,7%	-42,5%
					Braunkohlebriketts					
Submission 2022	2.000	1.309	431	14,6	7,32	0,02	1,19	1,21	1,20	1,20
Submission 2021	NE	NE	431	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Differenz absolut	2.000	1.309	0	14,6	7,3	0,0	1,2	1,2	1,2	1,2
Differenz relativ			0,00%							
					Brennholz					
Submission 2022	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Submission 2021	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Differenz absolut	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
					GESAMT-ENERGIEEINSATZ					
Submission 2022	41.234	32.681	26.065	18.826	15.915	14.400	14.867	12.318	10.340	11.722
Submission 2021	39.034	31.390	26.092	18.799	15.898	14.388	14.845	12.290	10.314	10.414
Differenz absolut	2.200	1.291	-27	27	17	12	22	28	26	1.308
Differenz relativ	5,64%	4,11%	-0,10%	0,14%	0,11%	0,08%	0,15%	0,22%	0,25%	12,6%

Quellen: AGEB (2021b); Knörr et al. (2021c)

Abgesehen von einer Korrektur für Methan aus Diesel und Biodiesel für die Jahre ab 2011 bleiben die Emissionsfaktoren im Vergleich zur Berichterstattung 2021 unverändert.

Tabelle 66: korrigierte Emissionsfaktoren für Methan aus Dieselkraftstoffen, in kg/TJ

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	1,33	1,10	1,03	1,01	0,95	0,94	0,91	0,87	0,84
Submission 2021	1,34	1,10	1,03	1,01	0,95	0,94	0,91	0,87	0,86
Änderung absolut	-0,004	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,021
Änderung relativ	-0,30%	-0,22%	-0,21%	-0,10%	-0,15%	0,00%	0,00%	-0,01%	-2,45%

Quelle: Knörr et al. (2021c)

Aus den beschriebenen Anpassungen resultieren folgende rekalkulierte Emissionen:

Tabelle 67: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalente

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid - CO_2 [a]										
Submission 2022	3.122	2.458	1.945	1.370	1.114	1.019	1.054	874	732	830
Submission 2021	2.901	2.331	1.947	1.367	1.112	1.018	1.052	872	729	737
Änderung absolut	222	127	-2,51	2,62	1,61	1,09	2,08	2,57	2,43	92,1
Änderung relativ	7,64%	5,45%	-0,13%	0,19%	0,15%	0,11%	0,20%	0,30%	0,33%	12,5%
Methan - CH_4										
Submission 2022	0,704	0,469	0,186	0,034	0,023	0,014	0,015	0,012	0,010	0,011
Submission 2021	0,104	0,077	0,186	0,030	0,021	0,014	0,014	0,012	0,009	0,009
Änderung absolut	0,600	0,393	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Änderung relativ	577%	512,16%	-0,03%	14,7%	10,8%	0,06%	2,79%	3,58%	4,39%	13,6%
Lachgas - N_2O										
Submission 2022	0,026	0,020	0,015	0,011	0,009	0,008	0,009	0,007	0,006	0,007
Submission 2021	0,022	0,018	0,015	0,011	0,009	0,008	0,009	0,007	0,006	0,006
Änderung absolut	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Änderung relativ	14,7%	10,8%	-0,3%	0,4%	0,3%	0,2%	0,4%	0,6%	0,6%	12,3%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]										
Submission 2022	3.147	2.476	1.954	1.374	1.117	1.022	1.057	877	734	832
Submission 2021	2.910	2.339	1.956	1.371	1.116	1.021	1.055	874	731	740
Änderung absolut	238	137	-2,52	2,74	1,68	1,10	2,10	2,60	2,45	92,4
Änderung relativ	8,17%	5,88%	-0,13%	0,20%	0,15%	0,11%	0,20%	0,30%	0,33%	12,5%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] inkl. *fossiles* CO_2 aus der Verwendung von Biodiesel

3.2.10.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.c)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.10.4 Transport - Schiffsverkehr (1.A.3.d)

3.2.10.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.d)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/-	**1 A 3 d, Domestic Navigation**	**fossil fuels**	**CO2**	**3.001,2**	**0,2%**	**1.094,3**	**0,2%**	**-63,5%**
-/-	1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	20,9	0,0%	7,7	0,0%	-63,3%
-/-	1 A 3 d, Domestic Navigation		CH4	1,9	0,0%	0,5	0,0%	-76,5%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	D a, CS
CH_4	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
N_2O	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
NOx, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)

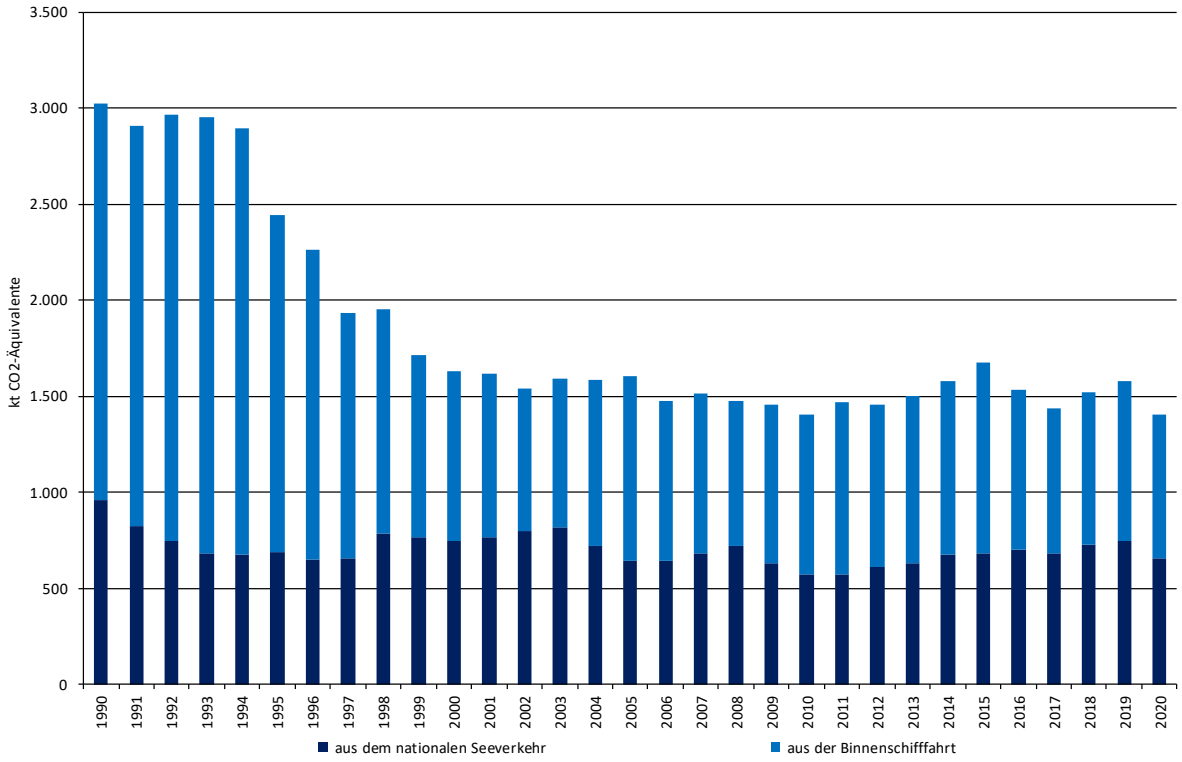
Die Kategorie *nationaler Schiffsverkehr* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe.

Der Schiffsverkehr ist in nationalen Seeverkehr und Binnenschifffahrt sowie internationale Seeschifffahrt zu unterscheiden. Die Emissionen aus dem internationalen Schiffsverkehr werden in den Emissionsinventaren nachrichtlich ausgewiesen, gehen aber nicht in die Gesamtemissionen ein.

Der Kategorie 1.A.3.d – nationaler Schiffsverkehr sind im ZSE die Binnenschifffahrt sowie der nationale Seeverkehr, d.h. Fahrten zwischen dt. Seehäfen, zugeordnet.

Die folgende Grafik zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des inländischen Schiffsverkehrs unterteilt in Binnenschifffahrt und nationalen Seeverkehr seit 1990.

Abbildung 32: Entwicklung der THG-Emissionen nationalem Schiffsverkehr seit 1990



3.2.10.4.2 Methodische Aspekte (1.A.3.d)

Für den *nationalen Seeverkehr* werden sämtliche primäre Eingangsdaten in einem am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) betriebenen Modell gemäß dem Tier3-Ansatz nach (EMEP (2019): Sectoral guidance chapters, 1.A.3.d Navigation (shipping)) zusammengeführt (Deichnik, 2021). Die hier zugrunde gelegten AIS-Bewegungsdaten liegen dabei aktuell erst ab dem Jahr 2012 vor. Für die Zeitspanne 1990 bis 2011 wurden die spezifischen Verbrauchsanteile von nationalem und militärischem Seeverkehr sowie Fischerei dagegen anhand der jährlichen Entwicklung geeigneter Indikatoren (u.a. Verkehrsleistung Nord-Ostsee-Kanal, Entwicklung der Flotten in Militär und Fischerei) abgeleitet.

Die Eingangsdaten der EMSA, die seitens des BSH für die Berechnung der Emissionen des nationalen Schiffsverkehrs herangezogen wurden, waren für das Jahr 2020 unvollständig. Grund dafür war eine Datenarchiv-Umstellung bei der EMSA, die in einem 4%igen Verlust von AIS-Daten mündete. Inwiefern hiervon anteilig nationale bzw. internationale Fahrten betroffen sind, kann aktuell noch nicht eingeschätzt werden.

Da zur Schließung dieser Datenlücke umfangreiche Anpassungen des verwendeten Modells zur Nutzbarmachung alternativer Datensätze nötig sind, kann diese erst im Rahmen der nächstjährigen Berichterstattung erfolgen.

Für die *Binnenschifffahrt* erfolgt die Zusammenführung primärer Daten in Form eines Tier2-Ansatzes in TREMOD (Knörr et al., 2021c). In das Modell gehen sowohl Emissionswerte aus Prüfstandmessungen als auch Daten zu spezifischen Energieverbräuchen ein. Letztere wurden mit einem auf der Binnenschifffahrtsstatistik des Statistischen Bundesamtes beruhenden

Verkehrsmengengerüst verknüpft und können nach Schiffstypen und -größen sowie Beladungen und Gewässertypen differenziert werden.

Als Quelle der **Aktivitätsdaten** dient, wie für den gesamten Sektor 1.A, grundsätzlich (AGEB (2021b), beruhend auf BAFA und MWV). Den Jahren 2005 bis 2009 liegen dabei von den Angaben der NEB abweichende Absatzzahlen des MWV zugrunde, die im Jahresbericht Mineralöl-Zahlen (hier: Seite 52, Tabelle „Sektoraler Verbrauch von Dieselkraftstoff“) veröffentlicht werden (MWV, 2019).

In den amtlichen Bilanzen der AGEB und des BAFA erfolgt die Aufteilung in *inländisch* (AGEB: „Küsten- und Binnenschifffahrt“ = BAFA: „an die Binnenschifffahrt“) und *international* (AGEB: „Hochseebunkerungen“ = BAFA: „Bunker int. Schifffahrt“) anhand der unterschiedlichen Besteuerung der Schiffskraftstoffe.

Hinsichtlich des Schiffsverkehrs wird in der NEB – wie beschrieben einzig anhand steuerlicher Gesichtspunkte – in Hochseebunkerungen (EBZ 6) sowie Küsten- und Binnenschifffahrt (EBZ 64) unterschieden. In EBZ 6 sind die Kraftstoffmengen enthalten, die von Seeschiffen gebunkert wurden, die eine Zulassung der *International Maritime Organization* (Internationale Seeschifffahrts-Organisation, IMO) als Seeschiff (IMO-Nummer) besitzen. Das sind Fracht-, Fischerei- und Militärschiffe, die sowohl national (zwischen zwei dt. Seehäfen) als auch international (von Deutschland ins Ausland) verkehren können. In EBZ 64 sind dagegen die Kraftstoffmengen angeführt, die zum einen von Binnenschiffen getankt, zum anderen aber von *nicht* durch die IMO zertifizierten Seeschiffen gebunkert wurden (kleinere, nur national verkehrende Schiffe). Zur Aufteilung in nationalen und internationalen *See*verkehr ist daher eine Aufteilung der in EBZ 6 enthaltenen Kraftstoffmengen auf national und international verkehrende Seeschiffe notwendig. Zusätzlich werden die jeweiligen spezifischen Mengen von Fischerei- und Militärschiffen abgezogen, die unter 1.A.4.c iii bzw. 1.A.5.b gesondert berichtet werden.

Tabelle 68: Quellennachweis für die verwendeten Aktivitätsdaten

Material	Quellstatistik	darin enthalten in Zeilen	
Dieselkraftstoff	NEB	77 (bis 1994) bzw. 64 (seit 1995)	„Küsten- und Binnenschifffahrt“
Biodiesel	NEB	64 (seit 2004)	
Schweröl	NEB	6	„Hochseebunkerungen“

Nationaler Seeverkehr

Die Aktivitätsraten des *nationalen Seeverkehrs* setzen sich aus den Angaben zu den in EBZ 64 enthaltenen *nicht* IMO-zertifizierten Seeschiffen sowie zu den in EBZ 6 enthaltenen national verkehrenden IMO-zertifizierten Seeschiffen (jeweils abzüglich Fischerei und Militär) zusammen. Um diese Anteile zu ermitteln, werden im oben genannten BSH-Modell die spezifischen Verbräuche national verkehrender Seeschiffe anhand ihrer AIS-Signale (aktuell ab 2010, siehe oben) berechnet und zu einer jährlichen Gesamtmenge aggregiert. Da vom Modell in IMO-zertifizierte und nicht zertifizierte Seeschiffe unterschieden wird, liegen gleichzeitig die in EBZ 6 und EBZ 64 enthaltenen Teilmengen vor. Durch Abzug der erstgenannten Teilmenge (Kraftstoffeinsatz in national verkehrenden IMO-zertifizierten Seeschiffen) von den in EBZ 6 enthaltenen Bunkermengen ergibt sich die von international verkehrenden Seeschiffen in D gebunkerte Restmenge, die als Grundlage für die Berechnung der gesondert ausgewiesenen Emissionen des internationalen Seeverkehrs (ab D) gemäß Tier 1 dient (siehe Kapitel 3.2.2.3).

Die jährlich von *Binnenschiffen* in Deutschland getankten Kraftstoffmengen ergeben sich durch Abzug der zweiten Teilmenge (Kraftstoffeinsatz in national verkehrenden nicht-IMO-zertifizierten Seeschiffen) von der in EBZ 64 angeführten Gesamtmenge. Die wechselnde

Befahrbarkeit der Wasserstraßen hat stark schwankende jährliche Verbräuche zur Folge, welche seit Mitte der 1990er Jahre tendenziell sinken, da aufgrund von Preisvorteilen viele Schiffe im Ausland betankt werden. Der abrupte Rückgang 1994/1995 ist einer Umstellung der Energiebilanz geschuldet.

Im Rahmen des Überprüfungsprozesses des UNFCCC wurde Deutschland wiederholt (zuletzt während des In-Country Reviews 2016) ermutigt, Emissionen aus zwar hierzulande von Binnenschiffen getankten, aber erst im Ausland verbrauchten Kraftstoffen separat auszuweisen. Da die verfügbaren Statistiken und Modelle dies nicht unmittelbar zulassen, wäre hierzu eine sehr aufwändige regelmäßige Erhebung notwendig, auf deren Grundlage zudem Daten bis zurück nach 1990 entwickelt werden müssten. Unter der Annahme, dass grenzüberschreitend verkehrende Binnenschiffe nur in seltenen Fällen in Deutschland Kraftstoffe aufnehmen[33], erscheint ein solches Vorgehen jedoch als fragwürdig. Nichtsdestotrotz wird der Bitte der Prüfkommissionen nachgegangen und eine für alle Seiten vertretbare wie wissenschaftlich belastbare Lösung gesucht.

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 19.1.4.

Bezüglich der Freisetzung von Methan und Lachgas aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE *(included elsewhere)* zu berichten ist.

Alle weiteren Emissionsfaktoren für den Teilsektor *Nationaler Seeverkehr* wurden Deichnik (2021) entnommen.

Für die *Binnenschifffahrt* kommen CH_4-Emissionsfaktoren aus Knörr et al. (2021c) zum Einsatz. Als Berechnungsgrundlage dienen Prüfstandmessungen sowie Daten zur benötigten Antriebsenergie differenziert nach Schiffstypen und -größen, Beladungen und Wasserstraßentypen. Hinsichtlich N_2O folgen die EF Expertenbetrachtungen im UBA entsprechend der UBA-Studie Luftreinhaltung ’88 bzw. dem Analogieschluss zu schweren Nutzfahrzeugen ohne Minderungstechnik.

Tabelle 69: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Binnenschifffahrt			
Diesel	1,41 (-)	1,00 (-)	landesspezifischer Wert gemäß Knörr et al. (2021c)
nationaler Seeverkehr			
Diesel	0,87 (-)	3,33 (2,00)	gemäß Deichnik (2021)
Schweröl	0,73 (7,00)	3,54 (2,00)	gemäß Deichnik (2021)
übergreifend			
Schmierstoffe			in EF der einzelnen Kraftstoffe berücksichtigt

in Klammern: Default-Werte gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3.5, S. 3.50, Tabelle 3.5.3

EF für Biodiesel entsprechen den für fossilen Diesel verwendeten Werten

3.2.10.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.d)

Während hinsichtlich der nationalen Binnenschifffahrt Unsicherheiten aus Knörr et al. (2009) entnommen werden konnten, muss bzgl. des nationalen Seeverkehrs derzeit noch auf Richtwerte gemäß IPCC zurückgegriffen werden.

[33] Aufgrund der in den Anrainerstaaten von Rhein und Donau dauerhaft preiswerteren Kraftstoffe und angesichts der Tatsache, dass ein großes Binnenschiff mit einer Tankfüllung ohne weiteres mehrere tausend Kilometer zurücklegen kann, wird davon ausgegangen, dass ein Nachtanken in Deutschland für grenzüberschreitende Fahrten nur in Ausnahmefällen stattfindet.

Durch die von 1994 zu 1995 erfolgte Umstellung der Energiebilanzen weisen die Zeitreihen der Aktivitätsdaten für Küsten- und Binnenschifffahrt zudem Inkonsistenzen auf, die aktuell nicht beseitigt werden können.

Die Emissionsfaktor-Zeitreihen weisen dagegen keine Inkonsistenzen auf.

3.2.10.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.d)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AGEB vor. Außerdem wurde eine Dokumentation zur Überarbeitung der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 im Internet veröffentlicht[34].

Tabelle 70: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2, CH_4, N_2O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	spezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 3.5.2	siehe Tabelle 71
CH_4, N_2O	sektorspezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 3.5.3	See: siehe Tabelle 69 Binnen: keine Defaults
CH_4, N_2O	Tier1-Default-EF gemäß (IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 2.4	Binnen: Ergebnisse kaum aussagekräftig
CO_2, CH_4, N_2O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 72

Tabelle 71: Vergleich der für das Berichtsjahr 2020 verwendeten EF(CO_2) mit IPCC-Default-Werten

	Inventarwert [a]	Default	*Untergrenze*	*Obergrenze*
fossiler Dieselkraftstoff	74.027	74.100	*72.600*	*74.800*
Schweröl	79.671	77.400	*75.500*	*78.800*
Biodiesel	70.800		*59.800*	*84.300*

[a] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie der EU(28).

Tabelle 72: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Dieselkraftstoff			Schweröl		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	74.027	1,24	1,72	79.671	0,73	3,54
Dänemark	73.961	1,86	1,82	77.944	2,27	1,83
Frankreich	74.733	7,06	1,88	78.000	7,50	2,00
Niederlande	72.454	7,00	2,00	NO	NO	NO
Großbritannien	75.168	0,81	3,42	76.414	1,27	3,64
EU-27(28)	74.304	3,68	4,44	77.521	6,18	2,21

Deutschland: aktuelle IEF für das Berichtsjahr 2019; alle anderen: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.10.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.d)

Gegenüber der Submission 2021 erfolgten Rückrechnungen aufgrund aktualisierter Aktivitäts-daten und Emissionsfaktoren. Zeitreihen-übergreifend erfolgte dabei eine grundlegende Revision des am BSH betreuten Modells zum nationalen Seeverkehr. In Folge dieser Revision

[34] AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05 (Aufruf vom 18.09.2013)

kam es zu einer Verlagerung von zuvor fälschlicherweise dem nationalen Seeverkehr zugeordneter Energieeinsätze zum von deutschen Seehäfen ausgehenden internationalen Seeverkehr (siehe Kapitel 3.2.2.3).

Speziell für das Jahr 2019 wurden zudem Angaben aus der zuletzt noch vorläufigen Energiebilanz durch finale Daten ersetzt.

Tabelle 73: revidierte Energieeinsätze, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Dieselkraftstoff										
Submission 2022	37.199	30.389	19.231	19.250	16.872	22.301	20.466	19.110	20.064	20.756
Submission 2021	36.604	29.855	18.648	18.596	16.183	22.781	24.167	22.400	23.847	21.556
Änderung absolut	596	535	584	654	689	-480	-3.701	-3.290	-3.783	-800
Änderung relativ	1,63%	1,79%	3,13%	3,52%	4,26%	-2,11%	-15,3%	-14,7%	-15,9%	-3,71%
Schweröl										
Submission 2022	3.103	2.186	2.382	2.054	1.810	108	37	81	262	394
Submission 2021	11.723	8.041	8.577	7.172	6.114	50	7	7	190	358
Änderung absolut	-8.619	-5.855	-6.195	-5.118	-4.304	58	30	74	72	36
Änderung relativ	-74%	-73%	-72%	-71%	-70%	116%	425%	1057%	38%	10%
GESAMT-KRAFTSTOFFEINSATZ										
Submission 2022	40.303	32.575	21.613	21.304	18.682	22.409	20.503	19.191	20.326	21.150
Submission 2021	48.326	37.896	27.224	25.768	22.297	22.831	24.174	22.407	24.037	21.914
Änderung absolut	-8.024	-5.320	-5.611	-4.464	-3.615	-422	-3.672	-3.216	-3.711	-764
Änderung relativ	-16,6%	-14,0%	-20,6%	-17,3%	-16,2%	-1,8%	-15,2%	-14,4%	-15,4%	-3,5%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Deichnik (2021) und Knörr et al. (2021c)

Gleichzeitig erfolgte eine Aktualisierung der aus den verwendeten Modellen abgeleiteten impliziten Emissionsfaktoren.

Tabelle 74: revidiertEmissionsfaktoren, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
nationaler Seeverkehr - Dieselkraftstoffe: CH_4										
Submission 2022	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88
Submission 2021	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,90	0,89	0,90	0,90	0,96
Änderung absolut	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,08
Änderung relativ	-0,50%	-0,55%	-0,54%	-0,53%	-0,56%	-0,79%	-1,78%	-1,70%	-3,14%	-8,58%
nationaler Seeverkehr - Dieselkraftstoffe: N_2O										
Submission 2022	3,313	3,313	3,313	3,313	3,313	3,341	3,340	3,341	3,351	3,350
Submission 2021	3,314	3,314	3,314	3,314	3,314	3,366	3,355	3,357	3,353	3,346
Änderung absolut	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,025	-0,016	-0,016	-0,002	0,004
Änderung relativ	-0,02%	-0,02%	-0,02%	-0,02%	-0,02%	-0,74%	-0,46%	-0,48%	-0,07%	0,12%
nationaler Seeverkehr - Schweröl: CH_4										
Submission 2022	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,52	0,60	0,67	0,65	0,65
Submission 2021	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,60	0,74	0,61	0,57	0,65
Änderung absolut	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	-0,08	-0,13	0,07	0,08	0,00
Änderung relativ	17,3%	17,0%	17,1%	17,1%	16,9%	-13,0%	-17,7%	11,0%	14,8%	0,75%
nationaler Seeverkehr - Schweröl: N_2O										
Submission 2022	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,52	3,50	3,52	3,53	3,54
Submission 2021	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,45	3,39	3,49	3,59	3,55
Änderung absolut	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,07	0,11	0,03	-0,06	-0,01
Änderung relativ	-1,48%	-1,46%	-1,47%	-1,47%	-1,46%	1,91%	3,28%	0,98%	-1,78%	-0,18%
Binnenschifffahrt - Dieselkraftstoffe: CH_4										
Submission 2022	2,37	2,16	1,91	1,78	1,65	1,51	1,49	1,47	1,44	1,43
Submission 2021	2,37	2,16	1,91	1,80	1,70	1,56	1,53	1,50	1,47	1,45
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,05	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	-1,51%	-3,18%	-2,91%	-2,50%	-2,12%	-1,78%	-1,38%

Quelle: Deichnik (2021) und Knörr et al. (2021c)

Aus diesen umfassenden Korrekturen resultieren folgende rekalkulierte Emissionen:

Tabelle 75: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid [a]										
Submission 2022	3.024	2.441	1.628	1.601	1.405	1.673	1.531	1.434	1.520	1.582
Submission 2021	3.645	2.851	2.064	1.947	1.685	1.690	1.790	1.659	1.781	1.624
Änderung absolut	-620	-410	-437	-346	-281	-17,1	-258	-225	-261	-42,5
Änderung relativ	-17,0%	-14,4%	-21,2%	-17,8%	-16,6%	-1,01%	-14,4%	-13,6%	-14,6%	-2,62%
Methan										
Submission 2022	0,078	0,059	0,032	0,031	0,026	0,028	0,025	0,023	0,024	0,025
Submission 2021	0,073	0,057	0,031	0,031	0,026	0,027	0,027	0,024	0,026	0,025
Änderung absolut	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,000
Änderung relativ	6,11%	4,15%	3,40%	0,86%	-0,80%	5,67%	-6,74%	-6,50%	-8,26%	0,06%
Lachgas										
Submission 2022	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Submission 2021	0,11	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
Änderung absolut	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01
Änderung relativ	-38,9%	-36,1%	-41,5%	-38,4%	-37,1%	-19,9%	-32,2%	-30,7%	-31,4%	-20,0%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]										
Submission 2022	3.024	2.441	1.628	1.601	1.405	1.673	1.531	1.434	1.520	1.582
Submission 2021	3.681	2.878	2.088	1.968	1.703	1.707	1.809	1.677	1.800	1.641
Änderung absolut	-656	-436	-460	-366	-298	-34,1	-278	-243	-280	-59,7
Änderung relativ	-17,8%	-15,2%	-22,0%	-18,6%	-17,5%	-1,99%	-15,3%	-14,5%	-15,6%	-3,64%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.10.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.d)

Hinsichtlich des *nationalen Seeverkehrs* erfolgen im Rahmen der alljährlichen Modellaktualisierung im Bedarfsfall auch modellpflegerische Arbeiten, die derzeit noch nicht genauer benannt werden können.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.10.5 Transport - Übriger Verkehr (1.A.3.e)

3.2.10.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.e)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	1.083,3	0,1%	767,5	0,1%	-29,1%
-/-	1 A 3 e, Other Transportation		N2O	14,5	0,0%	6,7	0,0%	-53,7%
-/-	1 A 3 e, Other Transportation		CH4	5,3	0,0%	3,8	0,0%	-29,3%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	ETS	CS
CH_4	Tier 2	ETS	CS
N_2O	Tier 2	ETS	CS

Die *Kategorie 1.A.3.e - Transport - Übriger Verkehr* ist keine Hauptkategorie.

In der Kategorie *1.A.3.e – Übriger Verkehr* werden nur die Emissionen von *Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen des Transportnetzes* berichtet. Die Emissionen aus Gasturbinen der Förderstationen werden in der Kategorie 1.A.1.c berichtet. Die diffusen Emissionen aus den Verdichtern werden unter 1.B.2.b.iii & iv berichtet. Es gibt noch weitere Gasverdichter in der chemischen Industrie, die gemäß der statistischen Struktur in der Kategorie 1.A.2.g Sonstige berichtet werden.

3.2.10.5.2 Methodische Aspekte (1.A.3.e)

Aktivitätsraten:

Die Berechnung des Brennstoffeinsatzes der Erdgasverdichter wurde für den NIR 2012 vollständig überarbeitet. Als neue Datenquelle werden ab dem Jahr 2005 die für den Emissionshandel gemeldeten und von der Emissionshandelsstelle aggregierten Brennstoffeinsätze direkt verwendet. Aus dem Datensatz werden nur diejenigen Erdgasverdichter verwendet, die dem Transportnetz zuzuordnen sind. Die Erdgasverdichter der Förderstationen werden über die Energiestatistik abgefragt und sind damit bereits in der Kategorie 1.A.1.c enthalten. Durch diese Zuordnung wird eine Doppelzählung im Inventar vermieden.

Aufgrund der neuen Datenlage ergab sich der Hinweis, dass die Brennstoffeinsätze der gesamten Zeitreihe zu gering sein mussten. Einzig der in der Energiebilanz 2002 ausgewiesene Wert scheint in einer plausiblen Größenordnung. Obwohl die Brennstoffeinsätze der Erdgasverdichter von 1995-2002 in einer Statistik gemeldet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass es eine Untererfassung gab. Deshalb wurde zur Herstellung der Zeitreihenkonsistenz eine Rückrechnung bis 1990 vorgenommen. Da die Brennstoffeinsätze abhängig vom Primärenergieverbrauch jährlich schwanken, wäre eine einfache Interpolation nicht zielführend gewesen. Deshalb wurde aus dem jeweiligen Verhältnis (Brennstoffeinsatz/Primärenergieverbrauch) ein Mittelwert über die Jahre 2005-2009

berechnet und damit bis 1990 zurückgerechnet. Dadurch ergibt sich eine plausible und konsistente Zeitreihe.

Emissionsfaktoren:

Die für den Erdgaseinsatz in **Erdgasverdichterstationen** verwendeten Emissionsfaktoren stützen sich schadstoffspezifisch auf Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und Expertenbetrachtungen des UBA, im Einzelnen:

- Für CO_2 wird auf die Dokumentation im Anhang 2, Kapitel CO_2-Emissionsfaktoren, verwiesen.
- Die CH_4- und die N_2O-EF sind dem Bericht Fichtner et al. (2011) entnommen. Die Vorgehensweise der Studien ist in Kapitel 3.2.6.2 beschrieben.

3.2.10.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.e)

Erstmals wurden im Berichtsjahr 2004 für die Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt (Juhrich & Wachsmann, 2007). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel „Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen“ des NIR 2007 beschrieben.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten der EF für Erdgasverdichterstationen ist im Kapitel 3.2.6.2 beschrieben. Ergebnisse für N_2O sind dem Kapitel 3.2.6.3.2 zu entnehmen, für CH_4 dem Kapitel 3.2.6.3.3.

3.2.10.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.e)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.2 gelten entsprechend.

3.2.10.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.e)

Es wurden keine Rückrechnungen vorgenommen.

3.2.10.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.e)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.11 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirstschaft und Fischerei (1.A.4 stationär)

3.2.11.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 stationär)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 4 a, Commercial/Institutional**	**fossil fuels**	**CO2**	**64.111,3**	**5,0%**	**27.615,8**	**3,9%**	**-56,9%**
-/T	**1 A 4 a, Commercial/Institutional**		**CH4**	**1.461,7**	**0,1%**	**83,2**	**0,0%**	**-94,3%**
-/-	1 A 4 a, Commercial/Institutional		N2O	147,4	0,0%	89,1	0,0%	-39,6%
L/T	**1 A 4 b, Residential**	**fossil fuels**	**CO2**	**128.635,8**	**10,1%**	**89.770,8**	**12,5%**	**-30,2%**
-/-/T2	**1 A 4 b, Residential**		**CH4**	**2.484,7**	**0,2%**	**785,9**	**0,1%**	**-68,4%**
-/-	1 A 4 b, Residential		N2O	768,8	0,1%	290,2	0,0%	-62,3%
L/-	**1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing**	**fossil fuels**	**CO2**	**10.177,9**	**0,8%**	**6.013,2**	**0,8%**	**-40,9%**
-/-	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH4	241,4	0,0%	171,7	0,0%	-28,9%
-/-	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N2O	61,0	0,0%	67,4	0,0%	10,5%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1*, CS	NS/M	CS, D*
CH_4	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
N_2O	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)

* Biodiesel und mitverbrannte Schmierstoffe

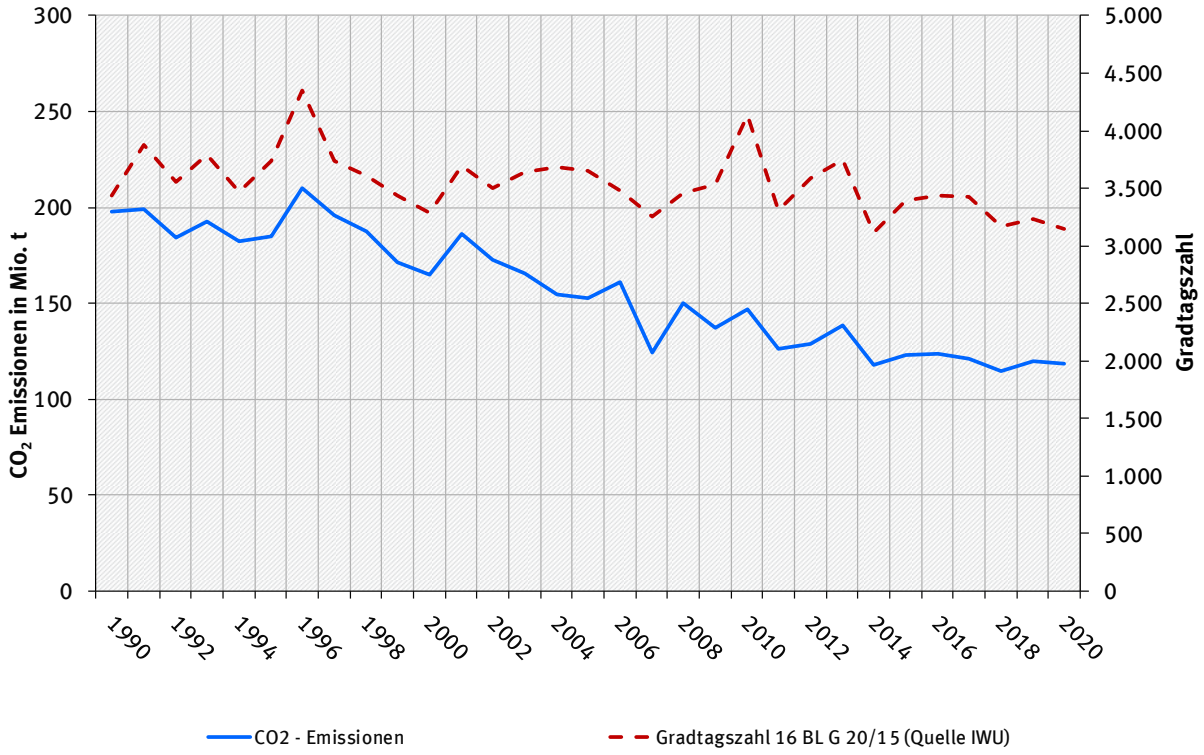
Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.4 für stationäre und mobile Quellen gemeinsam (Übersicht siehe Kapitel 3.2.11.1). Demnach ist die Kategorie 1.A.4 *Sonstige* in den Subkategorien 1.A.4.a&b für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend und für 1.A.4.c nur nach der Emissionshöhe. Für CH_4-Emissionen is die Kategorie 1.A.4.a Hauptkategorie nach dem Trend. Die Subkategorie 1.A.4.b ist für CH_4 zusätzlich nach der Approach-2-Analyse als Hauptkategorien identifiziert worden.

Die Kategorie 1.A.4 stationär umfasst Feuerungsanlagen in den Bereichen der Haushalte, des Gewerbes, des Handels und der Dienstleistungen (Kleinverbraucher) und der Landwirtschaft (*Commercial and Institutional, Residential* und *Agriculture*).

In der Subkategorie 1.A.4.ai Gewerbe, Handel und Dienstleistungen werden Anlagen zur Wärmeerzeugung in Kleinfeuerungsanlagen der Kleinverbraucher berichtet.

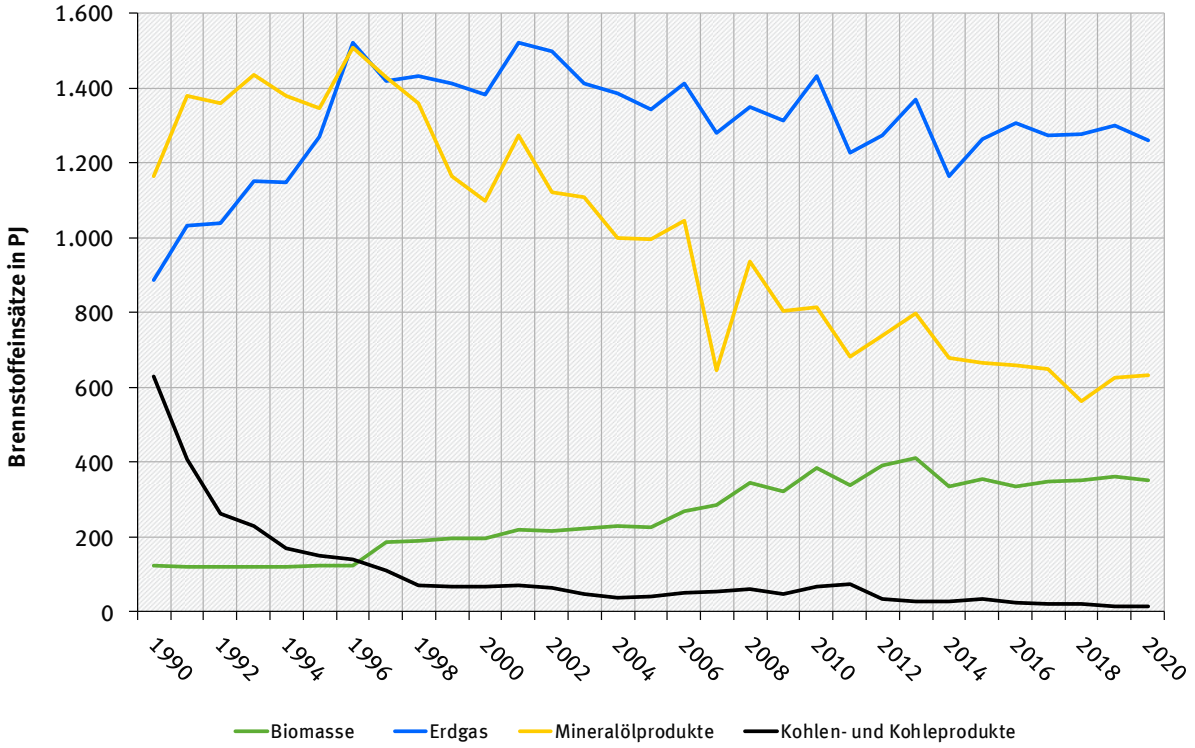
Unter der Subkategorie 1.A.4.bi werden die Emissionen aus den Feuerungsanlagen der Haushalte verbucht. Die Subkategorie 1.A.4.ci umfasst die Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei. Berichtet werden hier die Emissionen aus der Wärmeerzeugung in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen.

Abbildung 33: Änderung der Gesamtemission von 1.A.4 in Abhängigkeit von der Temperatur



Der Haupttreiber für die CO_2-Emissionen in 1.A.4 ist der Energieverbrauch für Raumwärme. Daher sind Schwankungen beim Verbrauch meist durch die unterschiedlichen winterlichen Kälteperioden erklärbar. Der Trend zu weniger CO_2-Emissionen kommt durch die höheren Standards bei Neubauten bzw. die erfolgreiche Durchführung von energetischen Gebäudesanierungen bei Bestandsbauten, sowie durch den Wechsel zu CO_2-ärmeren Brennstoffen. CO_2-Emissionen von den heutzutage in Neubauten immer öfter eingesetzten elektrischen Wärmepumpen werden hier nicht berichtet sondern unter 1.A.1.a.

Abbildung 34: Verlauf des Energieverbrauchs von 1.A.4 (stationär) nach 4 Brennstoffkategorien



Der Wechsel von flüssigen Brennstoffen (fast nur Heizöl) und festen Brennstoffen (hauptsächlich Kohle) zu gasförmigen Brennstoffen (Erdgas) und Biomasse sorgte über den Berichtszeitraum seit 1990 für eine erhebliche CO_2-Emissionsminderung. Daneben wirkten sich auch Verbesserungen bei der Energieeffizienz verbrauchssenkend aus. Dieser langfristige Trend wurde überlagert durch kurzfristige Schwankungen des Energieverbrauchs, beispielweise durch Preisänderungen von Energieträgern, die wie leichtes Heizöl absatz- und nicht verbrauchsorientiert ermittelt werden. Eine wesentliche Rolle für die Entwicklung des Energieeinsatzes eines Jahres spielt auch der Wärmemarkt, der stark von den Witterungsverhältnissen in der winterlichen Heizperiode beeinflusst ist. Besonders beim leichten Heizöl und Erdgas führte dies über die Jahre hinweg zu starken Schwankungen im Energieverbrauch.

Für die rückläufige Verbrauchsentwicklung beim Erdgas waren vor allem die wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Auswirkungen der Corona-Pandemie im Dienstleistungsbereich verantwortlich. Dagegen führte der niedrige Ölpreis zu einer Steigerung beim Heizölabsatz. Hinzu kamen langfristige Trends, wie die Zunahme der Energieeffizienz, Substitutionen im Energiemix hin zu mehr erneuerbaren Energien sowie die vergleichsweise milde Witterung. Gemessen an den Gradtagzahlen (gemittelt über 16 Messstationen) war die Witterung im Jahr 2020 insgesamt etwas wärmer als im Vorjahr, Dieser verbrauchsdämpfende Effekt der milden Witterung wurde nach Einschätzung der AGEB (AGEB, 2021a) durch einen Bestandsaufbau beim leichten Heizöl ausgeglichen. Im Jahresverlauf spürbar gesunkene Energiepreise ließen den Energiebedarf leicht ansteigen. Insgesamt trugen diese Effekte zu einem Rückgang der CO_2-Emissionen im Jahr 2020 bei.

Der Bestand an Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher) stellt hinsichtlich Bauart und Größe der Anlagen eine sehr inhomogene Gruppe dar. Die Bandbreite der installierten Feuerungen reicht, um nur einige Beispiele zu nennen, von Einzelraumfeuerstätten für feste Brennstoffe mit ca. 4 kW

Nennwärmeleistung (z.B. Kaminöfen, Herde), über Öl- und Gasfeuerungen zur Raumwärme- und Warmwassererzeugung (z.B. Zentralheizungskessel) sowie hand- und automatisch beschickte Holzfeuerungen im gewerblichen Bereich bis hin zu genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen bei Kleinverbrauchern mit einer Nennwärmeleistung von mehreren Megawatt. Insgesamt waren im Jahr 2010 mehr als 36,3 Mio. Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher) in Deutschland installiert (Tebert et al., 2016). Daran hatten Gasfeuerungsanlagen mit ca. 16,2 Mio. Anlagen den größten Anteil, gefolgt von den Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe (14,2 Mio. Anlagen) und Ölfeuerungsanlagen (ca. 5,9 Mio.).

Der Holzeinsatz in den Sektoren „Private Haushalte“ und „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (GHD) stützt sich – wie auch der Verbrauch der anderen Bioenergieträger in den verschiedenen Verbrauchssektoren –auf die Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), die für die Daten zu erneuerbaren Energien zu verschiedenen nationalen, EU-weiten und internationalen Berichtspflichten der Bundesregierung verantwortlich zeichnet[35].

Die Ergebnisse für die privaten Haushalte basieren dabei auf die im Rahmen des „Rohstoffmonitoring Holz“[36] durchgeführten Verbrauchserhebungen. Dabei werden neben dem über den offiziellen Handel käuflich erworbenen Brennholz auch die im Wald gesammelten Mengen mit erfasst. Für die Zwischenjahre findet ein Regressionsmodell Anwendung, in das die Gradtagszahlen und die Preisindizes der konventionellen Energieträger in Verbindung mit der Beheizungsstruktur der Wohngebäude einfließen. Die Umrechnung der Volumeneinheiten in Energieeinheiten erfolgt über die abgestimmte Umrechnungskonvention der AGEE-Stat.

Der Holzeinsatz der ausschließlichen Wärmeerzeugungsanlagen des GHD-Sektors wird mittels Restrechnung abgeleitet. Dabei wird der im Zuge der Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ und mittels Regressionsmodellen ermittelte Gesamtholzverbrauch (außerhalb der privaten Haushalte) mit den in der amtlichen Energiestatistik sowie ergänzend dazu modelltechnisch erfassten Holzmengen verschnitten. Der auch über dieses Modell abgeleitete Holzeinsatz, der mit der Wärmebereitstellung der KWK-Anlagen in Verbindung steht, ist ebenfalls Bestandteil des Gesamtholzverbrauchs des GHD-Sektors.

3.2.11.2 Methodische Aspekte (1.A.4 stationär)

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsraten der Kategorie 1.A.4 bauen auf den durch die AG Energiebilanzen (AGEB) erstellten Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland auf. Für die Jahre vor 1995 werden dabei für alte und neue Bundesländer getrennte Energiebilanzen verwendet. Für die Jahre ab 1995 sind die Zeilen 66 (Haushalte) und 67 (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher) maßgebend.

Da die Angaben der Energiebilanzzeile 67 – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher – auch die Verbräuche des Militärs beinhalten, müssen diese von den jeweiligen Positionen der Zeile 67 abgezogen werden (siehe Kapitel 3.2.13.2 zu den stationären wie mobilen Quellen des militärischen Bereichs).

Zu den Energieeinsätzen in *Feuerungsanlagen der Landwirtschaft (1.A.4.ci),* die ebenfalls in Zeile 67 der Energiebilanz enthalten sind, werden ab dem NIR 2021 für die fossilen Brennstoffe Daten der AGEB verwendet, die als Zeitreihe beginnend mit dem Jahr 2010 vorliegen. Diese Daten

[35] vgl. auch https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Arbeitsgruppe/arbeitsgruppe_ee.html

[36] https://www.kiwuh.de/projekte-und-foerderung/projekte/holzbereitstellung/rohstoffmonitoring-holz/

werden mittels eines Schätzverfahrens auf Basis der Energieausgaben der Landwirtschaft laut Jahrbuch Ernährung, Landwirtschaft, und Forsten (BLE, 2021) ermittelt. Die Energieträgerstruktur wird in der von der AGEB durchgeführten Studie „Umsetzung eines Verfahrens zur regelmäßigen und aktuellen Ermittlung des Energieverbrauchs in nicht von der amtlichen Statistik erfassten Bereichen“ (AGEB, 2016) beschrieben. Als Teilmenge der Energiebilanz finden sich diese Daten in den AGEB Auswertungstabellen zur Energiebilanz[37] wieder.

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO_2 Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Datengrundlage für die stationären Feuerungsanlagen verwendeten Emissionsfaktoren für N_2O und CH_4 ist der Forschungsbericht „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher“ (Tebert et al., 2016). Im Rahmen dieses Vorhabens wurden gerätebezogene und kategoriespezifische Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher für alle wichtigen Abgaskomponenten mit hohem Detaillierungsgrad für die Bezugsjahre 2010 und 2015 berechnet.

Die Ermittlung der Emissionsfaktoren beruht auf einem kategoriespezifischen „bottom-up"-Ansatz, bei dem zusätzlich zu den (Sub-)Kategorien und Brennstoffen detailliert nach Anlagentechnologien unterschieden wird. Hierbei werden durch Aggregierung von mehreren anlagenspezifischen Emissionsfaktoren mittlere Emissionsfaktoren für den gesamten Anlagenbestand innerhalb der betrachteten Kategorien generiert. Durch die anlagen-/ gruppenspezifischen Emissionsfaktoren werden alle wesentlichen feuerungstechnischen Besonderheiten der für die einzelnen Gruppen typischen Anlagen erfasst. Das Verfahren entspricht der Tier 2/3-Methode der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006b).

Die Strukturierung der Emissionsfaktoren richtete sich nach den in Deutschland am Endenergieverbrauch relevant beteiligten Brennstoffen:

- Heizöl EL,
- Erdgas,
- Braunkohlen (Briketts aus dem Rheinischen und Lausitzer Revier, Importbriketts),
- Steinkohlen (Koks, Briketts, Anthrazit) und
- Holz (naturbelassenes Holz, Holzpellets, Resthölzer).

Außerdem wurden die Emissionsfaktoren nach der Gerätebauart, der Altersstufe, dem Leistungsbereich und der typischen Betriebsweise der Feuerungsanlagen differenziert erhoben. Das Emissionsverhalten der Feuerungsanlagen wurde auf der Basis einer umfangreichen Literaturauswertung dokumentiert. Durch die Anwendung von Übertragungsfaktoren wurde berücksichtigt, dass die Emissionen auf dem Prüfstand in der Regel unter denen von installierten Anlagen liegen.

Die Beschreibung der Anlagenstruktur der installierten Feuerungsanlagen erfolgte unter Fortschreibung der Daten von Struschka et al. (2008) mit Hilfe von Absatzstatistiken der einschlägigen Industrieverbände. Mit Hilfe dieser Daten wurde der Energieeinsatz in einzelnen Anlagentypen geschätzt, so dass nach Energieeinsätzen gewichtete sektorale Emissionsfaktoren ermittelt werden konnten. Tabelle 76 zeigt die sektoralen Emissionsfaktoren.

[37] https://ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html

Tabelle 76: Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher für das Bezugsjahr 2010

	CH_4	N_2O
1.A.4.bi - Haushalte	**[kg/TJ]**	
Steinkohlen	134	11,5
Briketts	368	9,7
Steinkohlenkoks	13	0,9
Braunkohlenbriketts	237	5,2
Naturbelassenes Holz	97	1,6
Heizöl EL	0,03	0,55
Erdgas	3	0,25
1.A.4.ai & ci- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher)		
Steinkohlen	100	8,5
Briketts	-	-
Steinkohlenkoks	20	0,8
Braunkohlenbriketts	-	-
Holzbrennstoffe	43	0,53
Heizöl EL	0,03	0,56
Erdgas	0,16	0,33

Die Emissionsfaktoren des Jahres 2010 wurden für folgende Jahre konstant fortgeschrieben.

3.2.11.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 stationär)

Anhang 2, Kapitel 13.6 im NIR 2007 beschreibt die Methode, mit der die Unsicherheiten für die **Aktivitätsraten** ermittelt wurden.

Die Berechnung von abgesicherten Emissionsfaktoren im Anlagenbereich kann nur durch ein aufwendiges Verfahren erfolgen. Neben Emissionswerten müssen zusätzliche Informationen z.B. zur Berücksichtigung der Betriebsweise (Lastfälle), der Anlagenstruktur und des gerätebezogenen Endenergieverbrauchs ermittelt werden. Bei der Datenermittlung im Rahmen des oben genannten FE-Vorhabens wurde dieser Ansatz weitgehend verfolgt, gleichwohl musste allein aufgrund des großen Anlagenbestandes sowie der Vielzahl verschiedener Feuerungsbauarten und der zum Einsatz kommenden Brennstoffe von einer relativ großen „Grundunsicherheit“ der Daten ausgegangen werden.

Bei einigen Anlagenarten lagen bei Einsatz bestimmter Brennstoffe zudem nur unzureichende oder überhaupt keine Daten zum Emissionsverhalten vor. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei den Feuerungsanlagen der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher) keine gesetzliche Messpflicht für Treibhausgasemissionen besteht. Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren konnte daher im Regelfall (ausgenommen CO_2, da weitgehend unabhängig von der Feuerungsbauart) nur auf wenige Ergebnisse von Einzelmessungen an ausgewählten Anlagen zurückgegriffen werden. Die Datenlücken wurden durch Übertragung von Emissionsfaktoren vergleichbarer Feuerungsanlagen geschlossen.

Die Ermittlung der für die Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus der stationären Feuerung angegebenen Unsicherheiten erfolgte durch eine Expertenschätzung gemäß IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6). Sie basiert auf den für das o.g. Forschungsvorhaben erhobenen Emissionsdaten und wurde im Rahmen des o.g. Forschungsprojekts von Experten des Instituts für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart durchgeführt. Die Schätzung der Unsicherheiten erfolgte separat für alle Feuerungstechniken und Brennstoffe. In die Schätzung gingen für N_2O und CH_4 folgende Fehlerquellen ein:

- der Messfehler bei der Bestimmung der Schadstoff-Konzentration;

- die Unsicherheit bei der Schätzung von Übertragungsfaktoren (systematische Unterschiede zwischen Prüfstands- und Feldmessungen);
- die Unsicherheit aufgrund einer zu geringen Anzahl an Emissionsdaten;
- die Unsicherheit aufgrund von unterschiedlichen eingesetzten Messverfahren;
- die Unsicherheiten bei den angesetzten Anlagendaten (Bestands-, Alters- und Leistungsstruktur und eingesetzte Brennstoffmengen)

Bei Gasfeuerungsanlagen tritt ein weiterer Fehler bei der Ermittlung der Start-/ Stopp-Emissionen auf. Hier wird CH_4 aus dem Erdgas während der An- und Abfahrvorgänge teilweise unverbrannt emittiert. Diese dem eigentlichen Verbrennungsprozess vor- und nachgelagerten Emissionen, vgl. hierzu Kapitel 3.3.2.2 (Erdgas), tragen erheblich dazu bei, dass die CH_4-Emissionsfaktoren bei Gasfeuerungsanlagen mit hohen Unsicherheiten behaftet sind.

Für die Verteilung der Unsicherheiten wird bei den N_2O-Emissionsfaktoren eine Log-Normalverteilung angenommen. Es ist davon auszugehen, dass die Abweichungen hin zu größeren Werten deutlich ausgeprägter sind als hin zu kleineren Werten. Die Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O wurden im Rahmen des o.g. Forschungsvorhabens für das Jahr 2005 erhoben und seither als konstant angenommen.

3.2.11.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 stationär)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Informationen zur Qualitätssicherung für die **Aktivitätsraten** sind in Kapitel 3.2.6.4 beschrieben. Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe Kapitel 18.4.1.

Zur Qualitätssicherung der Angaben zu *stationären Feuerungen* wurden im Rahmen des oben genannten FE-Vorhabens alle verwendeten Eingangsdaten aus der Literatur und aus eigenen Erhebungen des Forschungsnehmers auf ihre Validität hin überprüft. Zur Beschreibung des Emissionsverhaltens der Feuerungsanlagen wurden Emissionswerte grundsätzlich nur dann in die weitere Berechnung übernommen, wenn in der Literaturstelle vollständige und zweifelsfreie Angaben zum eingesetzten Brennstoff, zur Bauart der Feuerung und deren Betriebsweise während der Messungen vorhanden waren. Alle für die Inventarerstellung wesentlichen Materialien hat der Auftragnehmer dokumentiert.

Im Rahmen einer von Fachleuten des Umweltbundesamtes durchgeführten Qualitätsprüfung wurden zudem die nach Tier 2 ermittelten länderspezifischen Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O mit den IPCC Tier 2 Default-Faktoren der IPCC Guidelines for emissions inventories (IPCC, 2006b) verglichen. Dabei ergab sich bei den meisten Brennstoffen eine gute Übereinstimmung der Werte (Abweichungen innerhalb einer Größenordnung), wobei tendenziell die Default-Werte für CH_4 höher liegen als die länderspezifischen Werte.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden für die Sektoren Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für das Jahr 2015 neben der Ermittlung der Emissionen nach Tier 2/3 eine Berechnung mit den Tier-1-Default-Werten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 77 dokumentiert.

Tabelle 77: Emissionsberechnung mit landesspezifischen Tier 2/3 Emissionsfaktoren und mit den Tier 1 Default-Emissionsfaktoren nach IPCC (2006b)

Emissionsfaktoren	CH_4 [t]				N_2O [t]			
	Haushalte		Kleinverbraucher		Haushalte		Kleinverbraucher	
	Tier 1 Default	landes-spezifische EF	Tier 1 Default	Landes-spezifische EF	Tier 1 Default	Landes-spezifische EF	Tier 1 Default	Landes-spezifische EF
Heizöl EL	4.694	76	1.723	6	277	256	101	97
Brenngase	4.223	2.534	1.763	55	84	212	35	115
Kohlebrennstoffe	7.388	5.776	44	85	37	177	2	7
Holz	66.780	21.074	9.011	1.465	890	352	120	25
Summe	**83.085**	**29.459**	**12.541**	**1.611**	**1.289**	**997**	**258**	**244**

In den Emissionen des Kleinverbrauchs sind die Emissionen der Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei enthalten.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung stimmen für N_2O bei beiden Methoden recht gut überein. Größere Abweichungen treten bei der Ermittlung der CH_4-Emissionen auf. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Methanemissionen von Feuerungsanlagen sehr stark von der Verbrennungstechnik abhängen. Unterschiede in der Anlagenstruktur in einzelnen Ländern machen sich deshalb sehr viel stärker in den ermittelten Gesamtemissionen bemerkbar als bei Lachgas. Vor allem der Default-Emissionsfaktor für Heizöl liegt sehr hoch. Der in IPCC 2006 angegebene Technikspezifische Emissionsfaktor für Heizkessel stimmt mit dem länderspezifischen Faktor für Deutschland deutlich besser überein.

Datenquellen, die einen Vergleich mit den hier für die mobilen Quellen der Haushalte, den landwirtschaftlichen Verkehr und den Fischfang berichteten Daten erlauben würden, sind nicht bekannt. Darüber hinaus wurde ein Vergleich der landesspezifischen IEF mit denen anderer Staaten durchgeführt, der aufgrund der heterogenen Zusammensetzung der Unterkategorien gerade für Methan und Lachgas allerdings nur begrenzt aussagefähig ist.

3.2.11.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 stationär)

Tabelle 78: Rückrechnungen in CRF 1.A.4 stationär

Einheit [kt]	NIR 2021	NIR 2022	Abweichung absolut				Abweichung relativ
Jahr	gesamt	gesamt	gas	liquid	solid	gesamt	gesamt
2019	122.009	119.849	687	-2.869	23	-2.160	-1,77%

Im Jahr 2019 kommt es zu größeren Rückrechnungen, da die in der Submission 2021 eingetragenen vorläufigen Werte durch die endgültige Energiebilanz ersetzt wurden.

3.2.11.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 stationär)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.12 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 mobil)

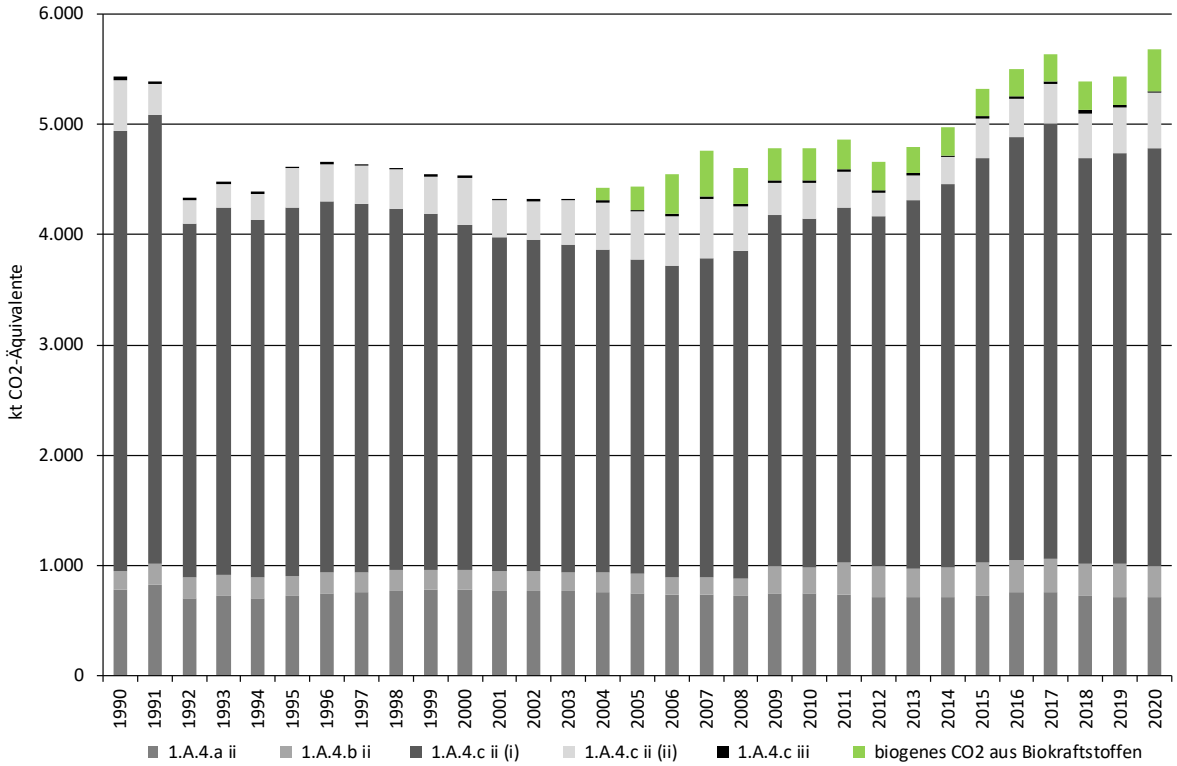
3.2.12.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 mobil)

Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.4 für stationäre & mobile Quellen gemeinsam (Übersicht siehe Kapitel 3.2.11.1). Demnach ist die Kategorie 1.A.4 *Sonstige*

in allen ihren Subkategorien für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. Für CH_4-Emissionen sind die Kategorien 1.A.4.a & b Hauptkategorie nach dem Trend.

Die Kategorie 1.A.4 – mobile umfasst verschiedene mobile Quellen in den Unterkategorien 1.A.4.a ii - Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, 1.A.4.b ii - Haushalte, 1.A.4.c ii - Land- und Forstwirtschaft und sowie 1.A.4.c iii - Fischerei.

Abbildung 35: Entwicklung der THG-Emissionen der betrachteten Teilsektoren seit 1990



3.2.12.2 Methodische Aspekte (1.A.4 mobil)

Die **Aktivitätsraten** der Quellgruppe 1.A.4 werden, wie für die stationäre Feuerung beschrieben, AGEB (2021a) entnommen.

Die dort in *EBZ 66 – Haushalte* erfassten Ottokraftstoffe werden dabei vollständig den *mobilen Quellen* (*1.A.4.b ii)* zugeordnet.

EBZ 67 – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher beinhaltet auch die Kraftstoffverbräuche des Militärs, die in BAFA (2021) auch separat statistisch erfasst werden und somit hier abgezogen werden können (siehe Kapitel 3.2.14 zu mobilen Quellen des militärischen Bereichs). Die weitere Aufteilung auf *land- (1.A.4.c ii (i)), forst- (1.A.4.c ii (ii))* und *bauwirtschaftlichen Verkehr (1.A.2.g vii)* sowie mobile Quellen in *1.A.4.a ii* (vornehmlich Gabelstapler) erfolgt anhand eines in Knörr et al. (2021b) erzeugten jährlichen Verteilschlüssels.

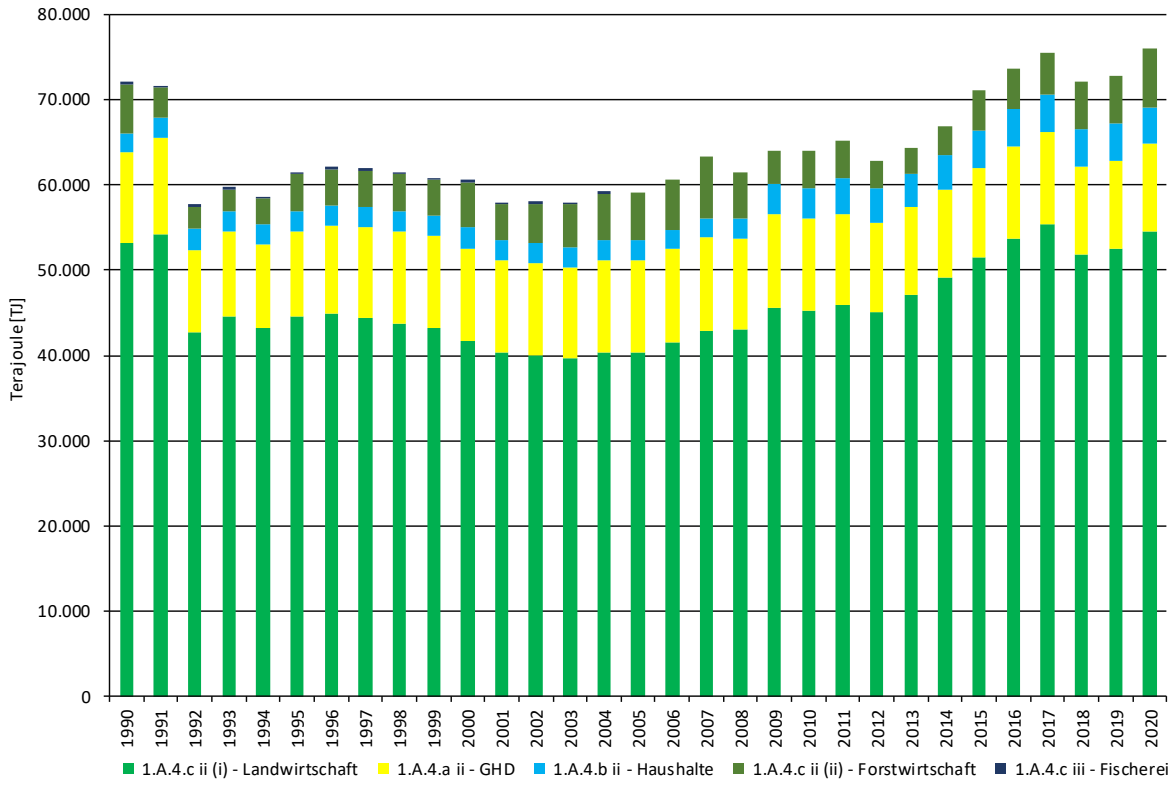
Die Aktivitätsdaten der unter *1.A.4.c (iii) – Fischerei* erfassten Küsten- und Hochseefischerei werden im unter 1.A.3.d vorgestellten BSH-Modell u.a. anhand von AIS-Daten (Automatisches Identifikationssystem der IMO) berechnet.

Die Menge *unbeabsichtigt* mitverbrannter Schmierstoffe wird grundsätzlich gemäß Wallfarth (2014) aus den jährlichen Kraftstoffmengen abgeleitet. Für die in Zweitakt-Ottomotoren (Haushalte, Fortwirtschaft) als Teil des Kraftstoffgemisches mitverbrannten Schmierstoffe ergibt

sich diese Menge dagegen als Aufschlag von zwei Prozent zum hier getankten Benzin (siehe auch Kapitel 19.1.4).

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Abbildung 36: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs innerhalb der betrachteten Teilsektoren seit 1990



Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 19.1.4.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte gemäß Knörr et al. (2021b) und Deichnik (2021) zum Einsatz. Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE *(included elsewhere)* zu berichten ist.

Tabelle 79: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
1.A.4.a ii – mobile Quellen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen			
Diesel & Biodiesel	1,02 (4,15)	2,89 (28,60)	gemäß Knörr et al. (2021b)
Flüssiggas	7,41 (-)	3,45 (-)	gemäß Knörr et al. (2021b)
1.A.4.b ii – mobile Quellen der Haushalte			
Ottokraftstoff (Zweitakt)	205 (180)	0,45 (0,40)	gemäß Knörr et al. (2021b)
Ottokraftstoff (Viertakt)	26,4 (120)	1,32 (2)	gemäß Knörr et al. (2021b)
1.A.4.c ii (i) – mobile Quellen der Landwirtschaft			
Diesel & Biodiesel	1,72 (4,15)	2,88 (28,6)	gemäß Knörr et al. (2021b)
1.A.4.c ii (ii) – mobile Quellen der Forstwirtschaft			
Diesel & Biodiesel	0,43 (4,15)	3,11 (28,6)	gemäß Knörr et al. (2021b)
Ottokraftstoff (Zweitakt)	219 (170)	0,46 (0,40)	gemäß Knörr et al. (2021b)
1.A.4.c iii – Fischerei *(hier: Hochseefischfang)*			
Diesel & Biodiesel	0,94 (-)	3,34 (-)	gemäß Deichnik (2021)
Schweröl	NA	NA	Schwerölnutzung endet 2014
übergreifend			
Schmierstoffe	IE	IE	in EF der Kraftstoffe berücksichtigt

in Klammern: Default-Werte gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3.3 - *Off-road transportation*, Seite 3.36, Tabelle 3.3.1

EF für Biodiesel und Bioethanol entsprechen den für ihre fossilen Pendants angegebenen Werten

3.2.12.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 mobil)

Die von der mathematischen Unsicherheit des in TREMOD MM entwickelten Verteilschlüssels (siehe oben: Methodische Aspekte) dominierten Unsicherheitenangaben der spezifischen Energieeinsätze basieren auf Expertenschätzungen. Gleiches gilt für die verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren. Während bzgl. der Emissionsfaktoren für Methan dagegen Ergebnisse aus Knörr et al. (2009) zugrunde gelegt werden, muss bzgl. Lachgas bis auf weiteres auf Richtwerte gemäß IPCC zurückgegriffen werden.

3.2.12.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 mobil)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Tabelle 80: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2, CH_4, N_2O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3, Tabellen 3.3.1 und 3.5.2 (1.A.4.c iii)	siehe Tabelle 81
CH_4, N_2O	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3, Tabellen 3.3.1 und 3.5.3 (1.A.4.c iii)	siehe Tabelle 79
CO_2, CH_4, N_2O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 82

Tabelle 81: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) mit default-Werten*

	Inventarwerte [a]	Default [b]	*Untergrenze*	*Obergrenze*
Dieselkraftstoff	74.027	74.100	*72.600*	*74.800*
Ottokraftstoff		69.300	*67.500*	*73.000*
Zweitakt [b]	*75.237*			
Viertakt	*75.276*			
Flüssiggas	66.334	63.100	*61.600*	*65.600*
Schweröl	n.a.	77.400	*75.500*	*78.800*
Schmierstoffe	73.300		*71.900*	*75.200*
Biodiesel	70.800		*59.800*	*84.300*
Biobenzin		70.800	*59.800*	*84.300*
Zweitakt [c]	*71.641*			
Viertakt	*71.607*			

[a] Inventarwerte für 2020; [b] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

[c] inkl. 2 % Schmierstoffe (EF = 73.300 kg/TJ) im Zweitaktergemisch 1:50

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren (IEF) anderer Staaten sowie den sich für die EU(28) ergebenden Werten, der sich aufgrund des äußerst heterogenen Quellgruppenzuschnitts jedoch schwierig gestaltet.

Tabelle 82: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	1.A.4.a ii liquid fuels			1.A.4.b ii liquid fuels			1.A.4.c ii diesel		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	70.976	3,71	3,13	75.454	61,9	0,48	74.027	1,72	2,88
Dänemark	73.240	26,5	1,88	73.000	52,4	1,17	73.999	0,78	3,56
Frankreich							74.883	0,84	28,7
Niederlande	72.492	2,47	0,60	73.023	46,8	0,60	72.454	1,11	0,60
Großbritannien				70.526	9,49	0,89	74.938	3,56	3,10
EU-27							73.934	2,40	16,4

	1.A.4.c ii gasoline			1.A.4.c ii heavy fuel oil			1.A.4.c iii diesel		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	75.237	219	0,46	NO	NO	NO	74.027	0,94	3,34
Dänemark	72.994	152	1,41	77.931	2,33	1,80	73.852	2,28	1,69
Frankreich	74.538	165	0,55	NO	NO	NO	74.523	7,04	1,88
Niederlande	73.023	282	0,60	77.400	7,00	2,00	72.454	7,00	2,00
Großbritannien	70.214	48,7	0,34	*76.485*	*1,53*	*3,82*	75.313	1,03	3,41
EU-27	72.981	162	1,79	76.616	6,49	2,17	74.008	5,54	2,06

Deutschland: IEF für das Berichtsjahr 2020; sonst: IEF für 2019 gemäß CRF-Submission 2021

3.2.12.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 mobil)

Wie oben beschrieben, sind die Aktivitätsraten der hier betrachteten Emissionsquellen Teil der in EBZ 67 angegebenen Primärdaten. Für das Jahr 2019 wurden hier die in Submission 2021 noch vorläufigen Daten durch finale Angaben ersetzt. Die anhand der offiziellen Beimengungsraten ermittelten Mengen eingesetzter Biokraftstoffe wurden entsprechend neu berechnet.

Tabelle 83: revidierte Primäraktivitätsdaten, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Dieselkraftstoff										
Submission 2022	126.920	105.800	96.425	85.293	89.516	101.911	105.895	108.752	101.513	102.836
Submission 2021	126.920	105.800	96.425	85.293	89.516	101.911	105.895	108.752	101.519	102.654
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,00	182
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,18%
Ottokraftstoff										
Submission 2022	28.213	19.659	17.276	16.546	12.583	12.557	12.219	11.712	11.543	11.141
Submission 2021	28.213	19.659	17.276	16.546	12.583	12.557	12.219	11.712	11.274	11.046
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	269	95,0
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,39%	0,86%
Flüssiggas										
Submission 2021	0	7.963	9.238	28.246	24.605	19.916	23.260	16.971	19.426	22.054
Submission 2020	0	7.963	9.238	28.246	24.605	19.916	23.260	16.971	19.426	20.844
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.210
Änderung relativ		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,81%
Biodiesel										
Submission 2021	0	0	0	5.460	6.863	5.575	5.614	5.806	5.901	5.857
Submission 2020	0	0	0	5.460	6.863	5.575	5.614	5.806	5.901	5.845
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,4
Änderung relativ				0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,21%
Biobenzin										
Submission 2021	0	0	0	114	486	545	531	494	519	481
Submission 2020	0	0	0	114	486	545	531	494	507	476
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,1	4,10
Änderung relativ				0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,39%	0,86%

Quelle: revidierte NEB 2019 (AGEB, 2021b) und eigene Berechnungen

Gleichzeitig erfolgte für den in den Primäraktivitätsdaten enthaltenen militärischen Verkehr eine Korektur des zur Umrechnung in Energiemengen genutzten Heizwertes für Ottokraftstoffe ab dem Jahr 2004 sowie eine alle Jahre betreffende Revision der Energieeinsätze im Hochseefischfang. Die starken Abweichungen in der Kategorie 1.A.4.c.iii von rund -40% bis -80% gegenüber der Submission 2021 ergeben sich dabei aus einer Revision des EMMA-Modells (v. 3.1.11). Hierbei wurden zuvor falsch zugeordnete Leistungsdaten der Antriebe sowie Hilfsmaschinen korrigiert.

Aus diesen Anpassungen resultieren die nachfolgend dargestellten veränderten Energieeinsätze der betrachteten Teilsektoren.

Tabelle 84: revidierte Energieeinsätze der Teilsektoren, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.4.a ii										
Submission 2022	10.634	9.958	10.907	10.803	10.844	10.383	10.807	10.892	10.346	10.276
Submission 2021	10.634	9.958	10.907	10.803	10.844	10.383	10.807	10.892	10.347	10.266
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,34	10,9
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%
1.A.4.b ii										
Submission 2022	2.177	2.395	2.395	2.411	3.510	4.411	4.412	4.406	4.418	4.410
Submission 2021	2.177	2.395	2.395	2.411	3.510	4.411	4.412	4.406	4.253	4.221
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	165	190
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,88%	4,50%
1.A.4.c ii (i)										
Submission 2022	53.263	44.622	41.696	40.366	45.246	51.580	53.732	55.367	51.855	52.509
Submission 2021	53.263	44.622	41.696	40.366	45.246	51.580	53.732	55.367	51.858	52.415
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,07	-2,90	94,2
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,18%

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.4.c ii (ii)										
Submission 2022	5.788	4.336	5.375	5.569	4.409	4.843	4.677	4.853	5.465	5.619
Submission 2021	5.788	4.336	5.375	5.562	4.383	4.824	4.660	4.840	5.409	5.646
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	7,57	25,9	19,3	16,5	13,4	56,3	-26,5
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,14%	0,59%	0,40%	0,35%	0,28%	1,04%	-0,47%
1.A.4.c iii										
Submission 2022	338	266	264	250	251	284	298	293	356	322
Submission 2021	735	567	549	504	489	555	1.117	1.208	2.529	512
Änderung absolut	-397	-301	-285	-254	-238	-271	-819	-915	-2.174	-190
Änderung relativ	-54,0%	-53,1%	-51,9%	-50,4%	-48,6%	-48,8%	-73,3%	-75,7%	-85,9%	-37,1%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf AGEB (2021b), Knörr et al. (2021b) und Deichnik (2021)

Parallel hierzu erfolgte eine Aktualisierung der für die einzelnen mobilen Emittenten modllierten impliziten Emissionsfaktoren.

Aus diesen umfassenden Korrekturen resultieren folgende rekalkulierte Emissionsangaben:

Tabelle 85: revidierte Emissionsmengen, in Kilotonnen CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.4.a ii										
Submission 2022	775	718	778	745	743	724	755	761	720	716
Submission 2021	775	718	778	745	743	724	755	761	720	715
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,76
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%
1.A.4.b ii										
Submission 2022	178	191	187	186	260	329	329	328	328	328
Submission 2021	178	190	186	185	261	329	329	329	316	314
Änderung absolut	0,25	0,92	1,16	0,63	-0,37	-0,35	-0,40	-0,45	12,0	13,9
Änderung relativ	0,14%	0,48%	0,62%	0,34%	-0,14%	-0,11%	-0,12%	-0,14%	3,81%	4,42%
1.A.4.c ii (i)										
Submission 2022	3.994	3.346	3.126	2.856	3.165	3.678	3.837	3.952	3.686	3.736
Submission 2021	3.994	3.346	3.126	2.856	3.165	3.678	3.837	3.952	3.686	3.729
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,22	6,64
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,18%
1.A.4.c ii (ii)										
Submission 2022	462	349	429	431	326	357	345	358	401	412
Submission 2021	462	349	429	430	324	356	344	357	396	414
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,63	2,09	1,50	1,28	1,05	4,87	-1,63
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%	0,65%	0,42%	0,37%	0,29%	1,23%	-0,39%
1.A.4.c iii										
Submission 2022	25,6	20,1	20,0	18,9	19,0	21,3	22,4	22,0	26,7	24,2
Submission 2021	55,3	42,7	41,3	37,9	36,8	41,6	83,8	90,7	190	38,4
Änderung absolut	-29,7	-22,5	-21,4	-19,0	-17,8	-20,3	-61,5	-68,6	-163	-14,2
Änderung relativ	-53,8%	-52,8%	-51,7%	-50,1%	-48,4%	-48,8%	-73,3%	-75,7%	-85,9%	-37,1%
1.A.4 - MOBILE EMITTENTEN GESAMT										
Submission 2022	5.434	4.623	4.541	4.237	4.514	5.109	5.287	5.421	5.162	5.216
Submission 2021	5.464	4.645	4.561	4.255	4.530	5.129	5.348	5.489	5.308	5.210
Änderung absolut	-29,5	-21,6	-20,2	-17,7	-16,1	-19,2	-60,6	-68,0	-146	5,41
Änderung relativ	-0,54%	-0,47%	-0,44%	-0,42%	-0,35%	-0,37%	-1,13%	-1,24%	-2,76%	0,10%

Quelle: eigene Berechnungen; inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.12.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 mobil)

Derzeit sind keine über die routinemäßige Prüfung und Revision der verwendeten Modelle hinausgehenden Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.13 Andere Bereiche (1.A.5.a stationär)

Die Kategorie 1.A.5 umfasst die verbrennungsbedingten Emissionen des militärischen Bereichs. Sie ist in die Kategorien 1.A.5.a „*Stationary*“ und 1.A.5.b „*Mobile*“ untergliedert.

3.2.13.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.a stationär)

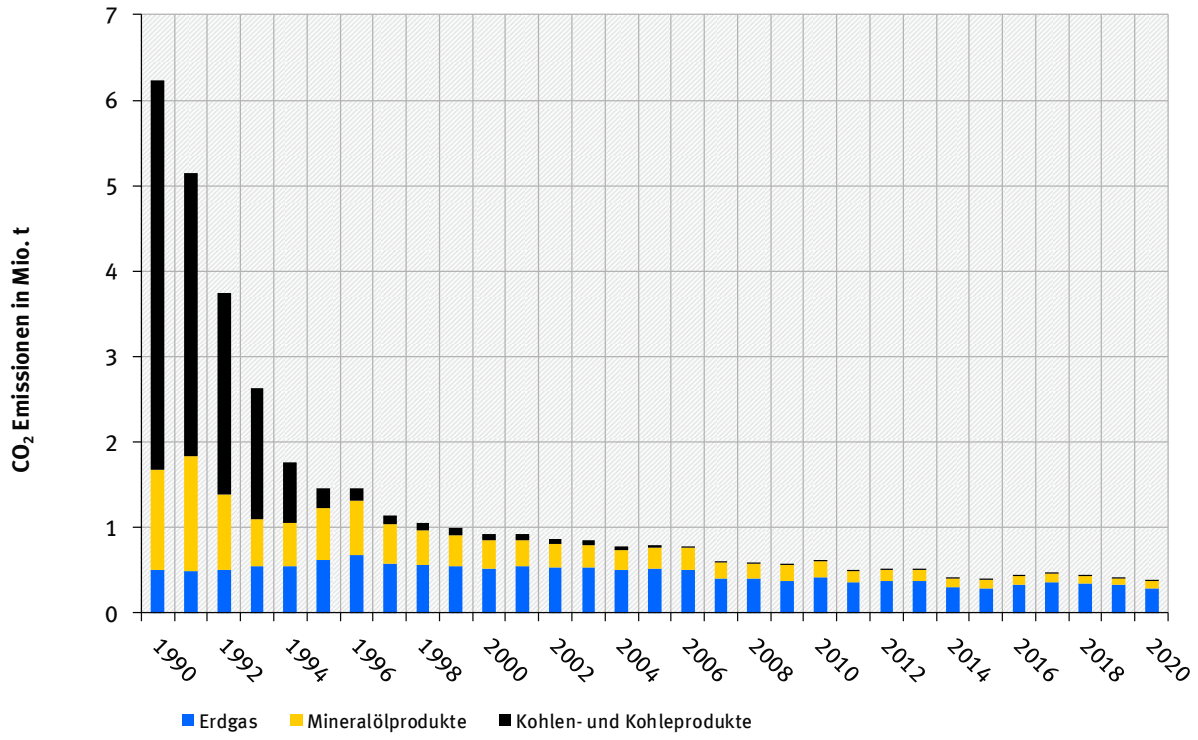
KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 A 5, Other: Military**	**fossil fuels**	**CO2**	**11.752,9**	**0,9%**	**744,4**	**0,1%**	**-93,7%**
-/-	1 A 5, Other: Military		CH4	279,4	0,0%	1,3	0,0%	-99,5%
-/-	1 A 5, Other: Military		N2O	60,9	0,0%	3,3	0,0%	-94,6%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS, Tier 1	NS	CS/D
CH_4	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M	CS/D/M
N_2O	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M	CS/D/M

Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.5 für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. Demnach ist die Kategorie *Andere Bereiche* eine Hauptkategorie für CO_2 nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die folgende Abbildung zeigt den Emissionsverlauf seit 1990.

Abbildung 37: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.5.a



Die besonders starke Emissionsreduktion resultiert zum einen aus der Schließung vieler Militärischer Dienststellen, zum anderen aus einem deutlichen Trend weg von festen hin zu gasförmigen und flüssigen Brennstoffen.

3.2.13.2 Methodische Aspekte (1.A.5.a stationär)

Aktivitätsraten

Grundlage für die verwendeten Aktivitätsraten ist die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland (AGEB). Da diese den Endenergieverbrauch der militärischen Dienststellen ab 1995 nicht mehr getrennt ausweist, sondern nur noch in Zeile 67 unter „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ mit erfasst, werden Angaben des Bundesamtes für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw, 2020) genutzt, das dem UBA den „Energieeinsatz zur Wärmeerzeugung in der Bundeswehr“ nach Brennstoffen 2000-2020 meldet. Diese Zahlen werden von den Angaben der Energiebilanzzeile 67 (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) subtrahiert und nicht in 1.A.4, sondern in 1.A.5 berichtet. Seit dem Berichtsjahr 2008 wird für die Kategorie 1.A.5.a auch der Einsatz von Holz berichtet. Seit dem Berichtsjahr 2020 stammt die Datengrundlage für die Zeitreihe ab 2003 von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat).

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO_2 Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Datengrundlage für die verwendeten Emissionsfaktoren alle anderen Schadstoffe sind die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens der Universität Stuttgart im Auftrag des Umweltbundesamtes (Struschka et al., 2008). Im Rahmen dieses Vorhabens wurden gerätebezogene und kategoriespezifische Emissionsfaktoren von Feuerungsanlagen in den militärischen Dienststellen für alle wichtigen Abgaskomponenten mit hohem Detaillierungsgrad für das Bezugsjahr 2005 berechnet. Die Methode bei der Ermittlung der Faktoren entspricht der für die Kategorie 1.A.4 beschriebenen. Tabelle 86 zeigt die verwendeten sektoralen Emissionsfaktoren.

Tabelle 86: Sektorale Emissionsfaktoren für das Militär

	CH_4	N_2O
	[kg/TJ]	
stationäre Feuerung in Dienststellen		
Steinkohlen	2,0	4,8
Braunkohlenbriketts	242	0,37
Heizöl EL	0,017	0,56
Erdgas	0,042	0,29

3.2.13.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.a stationär)

Angaben zu den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren können der Beschreibung der Kategorie 1.A.4 entnommen werden. Im Anhang 2 Kapitel 13.6 im NIR 2007 ist beschrieben, wie die Unsicherheiten für die Aktivitätsraten ermittelt wurden.

3.2.13.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.a stationär)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Da andere Datenquellen für Deutschland nicht bekannt sind, ist eine vergleichende Verifikation der hier berichteten Emissionen derzeit nicht möglich.

3.2.13.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.a stationär)

Für das Jahr 2019 ergeben sich leichte Rückrechnungen für die festen Brennstoffe, aufgrund der Aktualisierung der Heizwerte.

3.2.13.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.a stationär)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.14 Andere Bereiche (1.A.5.b mobil)

3.2.14.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.b mobil)

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1 [a], CS	NS/M [b]	D [a], CS
CH_4	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M [b]	CS (M)
N_2O	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M [b]	CS (M)
NO_X, CO, NMVOC, SO_2	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M [b]	CS (M)

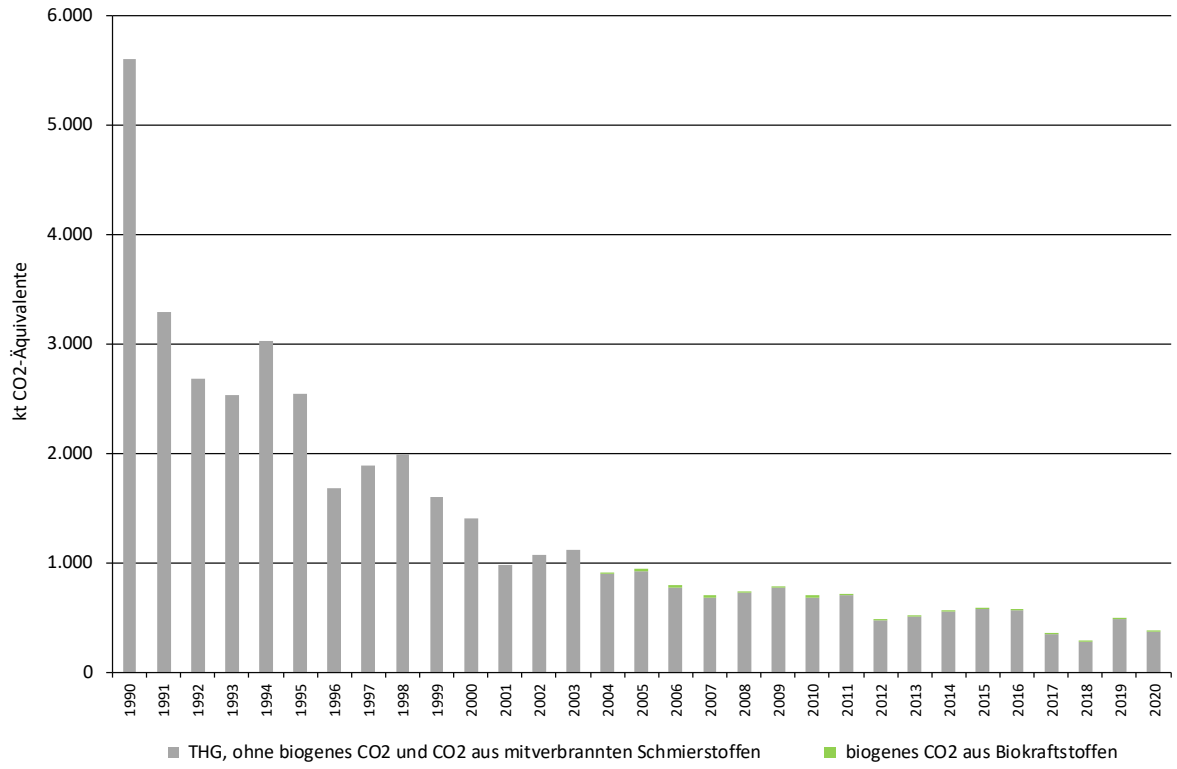
[a] für Biodiesel und Flugbenzin: Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

[b] militär. Schiffsverkehr: berechnet in Deichnik (2021)

Die Hauptkategorie-Analyse erfolgt für *1.A.5 - Andere Bereiche* übergreifend für stationäre und mobile Quellen (siehe Kapitel 3.2.13.1). Demnach ist die Quellgruppe *1.A.5* eine Hauptkategorie für CO_2 nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen seit 1990.

Abbildung 38: Entwicklung der THG-Emissionen aus mobilen Quellen des Militärs seit 1990



3.2.14.2 Methodische Aspekte (1.A.5.b mobil)

Aktivitätsraten

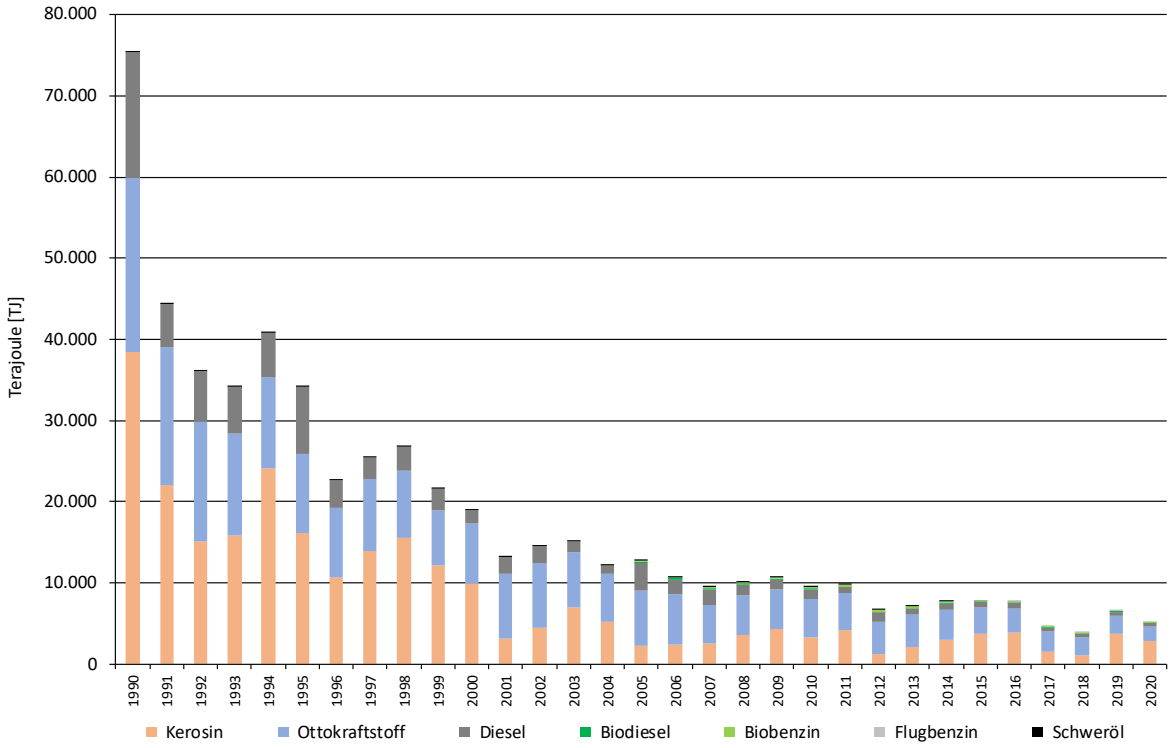
Grundlage für die verwendeten **Aktivitätsraten** ist die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland (AGEB), der die Kraftstoffeinsätze des Militärischen Boden- und Luftverkehrs

(Diesel- und Ottokraftstoffe inkl. biogene Beimischungen, Kerosin, Flugbenzin) lediglich bis 1993 direkt entnommen werden können. Ab 1994 wird auf BAFA (2021) zurückgegriffen. Die dort in 1000 t angegebenen Verbräuche werden auf Basis der ausgewiesenen Heizwerte in Terajoule umgerechnet (AGEB, 2021c). Die Kraftstoffeinsätze der Marine sind dagegen nur als Teilmenge der in *EBZ 6 – Hochseebunkerungen* geführten Mengen verfügbar und werden daher, wie in Kapitel 19.1.4 näher beschrieben, gesondert berechnet.

Darüber hinaus werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe über Mitverbrennungsraten gemäß Wallfarth (2014) aus den Gesamtmengen der in den Unterkategorien 1.A.5.b i bis iii eingesetzten Kraftstoffe abgeleitet (siehe auch Kapitel 19.1.4).

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Abbildung 39: Entwicklung des Kraftstoffeinsatzes seit 1990



Emissionsfaktoren

Hinsichtlich der **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Es kommen sowohl landesspezifische als auch Default-Werte (Biodiesel, Flugbenzin) zum Einsatz. Weiterführende Informationen speziell zur Schmierstoffmitverbrennung finden sich in Kapitel 19.1.4.

Für Methan und Lachgas kommen für den bodengebundenen Verkehr sowie für den Einsatz von Flugbenzin landesspezifische Werte zum Einsatz. Für Kerosin werden aufgrund der vom zivilen Flugverkehr stark abweichenden Flugzeugtypen IPCC-Defaults verwendet. Die für die Marine verwendeten Emissionsfaktoren werden Deichnik (2021) entnommen. Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE *(included elsewhere)* zu berichten ist.

Tabelle 87: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
1.A.5.b i – militärische Bodenfahrzeuge und Maschinen			
Diesel & Biodiesel	2,97 (-)	0,81 (-)	IEF abgeleitet von 1.A.3.b: schweres Nutzfahrzeug
Ottokraftstoff & Bioethanol	7,04 (-)	0,72 (-)	IEF abgeleitet von 1.A.3.b
1.A.5.b ii – militärischer Flugverkehr [a]			
Kerosin	0,50 (0,50)	2,00 (2,00)	Tier1-default gemäß IPCC (2006b)
Flugbenzin	20,4 (-)	2,30 (-)	IEF abgeleitet von 1.A.3.a
1.A.5.b iii – militärischer Seeverkehr / Marine [b]			
Diesel	0,71 (7,00)	3,43 (2,00)	gemäß Deichnik (2021)
Schweröl	n.a.	n.a.	Nutzung endet 2014
übergreifend			
Schmierstoffe	IE	IE	in EF der Kraftstoffe abgebildet

in Klammern: Default-Werte gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3: [a] Tab. 3.6.5; [b] Tab. 3.5.3

EF für Biodiesel und Bioethanol entsprechen den für ihre fossilen Pendants verwendeten Werten

3.2.14.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.b mobil)

Innerhalb der Untersektoren 1.A.5.b i und ii wird auf Default-Unsicherheiten gemäß IPCC zurückgegriffen. Davon abweichend wurden in (BSH, 2015) spezifische Unsicherheiten für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren des militärischen Seeverkehrs abgeleitet.

3.2.14.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.b mobil)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Tabelle 88: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO_2	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO_2	spezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	für 1.A.5.b ii & iii: siehe Tabelle 89
CO_2	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	für 1.A.5.b i: siehe Tabelle 89
CH_4, N_2O	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b)	für 1.A.5.b ii & iii: siehe Tabelle 86
CH_4, N_2O	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	1.A.5.b i: siehe Tabelle 86
CO_2	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 82

Tabelle 89: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default- Werten, in kg/TJ

	Inventarwerte[a]	Default[b]	*Untergrenze*	*Obergrenze*
Dieselkraftstoff	74.027	74.100	*72.600*	*74.800*
Ottokraftstoffe	75.276	69.300	*67.500*	*73.000*
Kerosin	73.256	71.500	*69.800*	*74.400*
Flugbenzin	70.000		*67.500*	*73.000*
Biodiesel	70.800		*59.800*	*84.300*
Bioethanol	71.607	70.800	*59.800*	*84.300*

[a] für das Berichtsjahr 2020; [b] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten.

Tabelle 90: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ

	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	**74.693**	**2,95**	**1,56**
Dänemark	73.171	3,39	2,60
Frankreich	IE	IE	IE
Niederlande	74.034	6,45	3,90
Großbritannien	72.819	1,86	2,62
EU-27	81.006	3,62	3,63

Deutschland: aktuelle IEF für 1.A.5.b für das Berichtsjahr 2020; alle anderen: IEF für 2019 gemäß CRF-Submission 2021

3.2.14.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.b mobil)

Gegenüber der Submission 2021 erfolgten Rückrechnungen aufgrund aktualisierter Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren. Für das Jahr 2019 wurden dabei Angaben aus der zuletzt noch vorläufigen Energiebilanz durch finale Daten ersetzt.

Parallel dazu erfolgt für alle Jahre ab 2004 eine Korrektur des für die Umrechnung der eingesetzten Ottokraftstoffe in Energiemengen verwendeten Heizwertes sowie eine alle Jahre betreffende Revision der Energieeinsätze im militärischen Seeverkehr.

Tabelle 91: revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule

	1990	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
militär. Landverkehr & mobile Maschinen											
Subm. 2022	36.545	17.801	8.841	6.761	10.306	6.029	4.041	3.696	3.004	2.699	2.663
Subm. 2021	36.545	17.801	8.841	6.764	10.324	6.102	4.099	3.748	3.046	2.741	2.663
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	-2,39	-18,3	-72,8	-57,8	-52,1	-41,9	-42,0	0,00
Änd. relativ	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%	-0,18%	-1,19%	-1,41%	-1,39%	-1,38%	-1,53%	0,00%
militär. Luftverkehr											
Subm. 2022	38.400	16.149	9.863	5.281	2.200	3.286	3.726	3.845	1.507	1.025	3.746
Subm. 2021	38.400	16.149	9.863	5.281	2.200	3.286	3.726	3.845	1.507	1.025	3.746
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änd. relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
militär. Seeverkehr											
Subm. 2022	532	366	318	249	239	209	154	141	156	133	164
Subm. 2021	983	665	563	431	410	347	273	359	489	436	558
Änd. absolut	-451	-298	-245	-181	-171	-138	-119	-218	-333	-303	-394
Änd. relativ	-45,9%	-44,9%	-43,5%	-42,1%	-41,7%	-39,7%	-43,5%	-60,7%	-68,1%	-69,6%	-70,6%
MOBILE EMITTENTEN DES MILITÄRS GESAMT											
Subm. 2022	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477	75.477
Subm. 2021	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928	75.928
Änd. absolut	-451	-451	-451	-451	-451	-451	-451	-451	-451	-451	-451
Änd. relativ	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%	-0,59%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf BAFA (2021) und Deichnik (2021)

Für den militärischen Seeverkehr erfolgte zusätzlich eine Anpassung der impliziten Emissionsfaktoren.

Diese umfassenden Anpassungen ziehen für sämtliche betrachteten Jahre Änderungen der berichteten Treibhausgas-Emissionen nach sich.

Tabelle 92: revidierte Emissionsdaten, in kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
militär. Landverkehr & mobile Maschinen											
Subm. 2022	2.733	1.327	658	498	745	427	293	268	218	195	193
Subm. 2021	2.733	1.327	658	498	746	432	297	271	221	198	193
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	-0,18	-1,34	-5,18	-4,21	-3,79	-3,06	-3,05	0,00
Änd. relativ	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%	-0,18%	-1,20%	-1,42%	-1,40%	-1,39%	-1,54%	0,00%
militär. Luftverkehr											
Subm. 2022	2.836	1.193	729	390	162	243	275	284	111	76	277
Subm. 2021	2.836	1.193	729	390	162	243	275	284	111	76	277
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änd. relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
militär. Seeverkehr											
Subm. 2022	28,7	19,8	17,2	13,5	12,9	11,3	11,6	10,6	11,7	10,0	12,3
Subm. 2021	73,8	49,9	42,2	32,3	30,8	26,0	20,5	27,0	36,7	32,7	41,9
Änd. absolut	-45,1	-30,1	-25,0	-18,8	-17,8	-14,7	-8,9	-16,4	-25,0	-22,8	-29,6
Änd. relativ	-61,1%	-60,3%	-59,3%	-58,2%	-57,9%	-56,5%	-43,5%	-60,7%	-68,1%	-69,6%	-70,6%
MOBILE EMITTENTEN DES MILITÄRS GESAMT											
Subm. 2022	5.598	2.540	1.403	901	920	681	580	562	341	281	482
Subm. 2021	5.643	2.570	1.428	920	939	700	593	582	369	307	512
Änd. absolut	-45,1	-30,1	-25,0	-19,0	-19,2	-19,9	-13,1	-20,2	-28,1	-25,8	-29,6
Änd. relativ	-0,80%	-1,17%	-1,75%	-2,06%	-2,04%	-2,84%	-2,21%	-3,46%	-7,61%	-8,41%	-5,78%

Quelle: eigene Berechnungen; inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.14.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.b mobil)

Derzeit sind keine spezifischen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.2.15 Militär

Emissionen aus internationalen Einsätzen der Bundeswehr unter NATO- oder UN-Mandat werden in den deutschen Emissionsinventaren nicht erfasst, sondern als Memo-Items als „not estimated“ (NE) vermerkt. Grund hierfür sind fehlende Informationen zu im Rahmen dieser Mandate bezogenen bzw. eingesetzten Kraftstoffmengen (Aktivitätsdaten).

Emissionen aus der stationären Feuerung militärischer Dienststellen und dem *inländischen* Einsatz militärischer Fahrzeuge und Maschinen werden in den deutschen Emissionsinventaren dagegen unter der Kategorie *1.A.5 – Other* erfasst und beschrieben.

3.3 Diffuse Emissionen aus Brennstoffen (1.B)

Während aller Stadien, von der Extraktion fossiler Brennstoffe bis hin zu ihrem abschließenden Gebrauch, können Bestandteile als diffuse Emissionen entweichen oder freigesetzt werden. Während Methan die bedeutendsten Emissionen innerhalb der Quellkategorie Feste Brennstoffe und Erdgas darstellt, ist bei den diffusen Emissionen von Öl und Erdgas zusätzlich NMVOC von Bedeutung. Kohlendioxid spielt in der Kategorie 1.B eine Rolle bei der Veredelung fester Brennstoffe, der Sauergasaufbereitung, Prozessen in der Raffinierie sowie als Bestandteil von Erdgas bei Leckagen. Die Quellkategorie 1.B. ist keine Quelle für fluorierte Gase.

3.3.1 Feste Brennstoffe - Kohlenbergbau und -umwandlung (1.B.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**1 B 1, Solid Fuels**		**CH4**	**25.553,4**	**2,0%**	**136,7**	**0,0%**	**-99,5%**
-/-	1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	1.832,8	0,1%	629,5	0,1%	-65,7%

Die Kategorie Kohlenbergbau und -umwandlung ist für CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Im Bergbau wird zwischen Tagebau, Gewinnung des Rohstoffs in offenen Gruben, und Tiefbau, Abbau der Lagerstätte in untertägigen Abbauräumen, unterschieden. In Deutschland wird Braunkohle seit 2003 ausschließlich im Tagebau gewonnen. Die Steinkohlenförderung wurde 2018 eingestellt.

Die Kategorie ist nach folgendem Schema untergliedert:

Quellgruppe			Enthaltene Emissionen
1.B.1.a. Kohlenbergbau			
	i.	**Tiefbau**	
		Bergbauliche Tätigkeiten	Gesamtemissionen aus Wetterströmen und Grubengasabsaugung des aktiven Steinkohlentiefbaus reduziert um die Menge verwerteten Grubengases (seit 2019 wird hier NO berichtet)
		anschließende bergbauliche Tätigkeiten	Emissionen aus Aufbereitung, Lagerung und Transport von Steinkohle (seit 2019 wird hier NO berichtet)
		Stillgelegte Kohlenbergwerke	Emissionen aus stillgelegten Steinkohlebergwerken sowie Emissionen aus dem Einsatz von Fackeln
	ii.	**Tagebau**	
		Bergbauliche Tätigkeiten	Emissionen aus aktivem Braunkohlentagebau. Hierbei wird das gesamte Methanpotential der deutschen Braunkohle zugrunde gelegt und als Emission während der Förderung angenommen. Eine spätere Emission von Methan bei der Weiterverarbeitung ist somit bereits abgedeckt. Es erfolgt keine Grubengaserfassung oder -nutzung beim Tagebau.
		anschließende bergbauliche Tätigkeiten	Keine getrennte Ausweisung – die Emissionen sind bereits in „Bergbauliche Tätigkeiten“ enthalten
1.B.1.b. Umwandlung von festen Brennstoffen – Veredelung von Kohle und Holzkohlenproduktion			Emissionen aus der Kohlenveredelung und Holzkohlenproduktion. Bei der Steinkohleveredelung werden spezifische Emissionen hier dokumentiert. Methanemissionen bei der Herstellung von Veredelungsprodukten aus Braunkohle sind bereits in 1.B.1.a.ii „Bergbauliche Tätigkeiten“ enthalten. Die zugrunde gelegte Aktivitätsrate umfasst die Gesamtmenge der Veredelungsprodukte aus Stein- und Braunkohle.
1.B.1.c. Sonstiges			In dieser Kategorie werden derzeit keine Emissionen berichtet.

Emissionen und Trend (1.B.1)

3.3.1.1 Tiefbau – Steinkohlen

In Deutschland findet kein Steinkohlenbergbau mehr statt.

3.3.1.2 Tagebau - Braunkohlen

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	AS	CS

3.3.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (Tagebau - Braunkohlen)

Aktivitätsraten

Tabelle 93: Förderung von Braunkohle, in Mio. t.

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2019	2020
356,5	192,7	167,7	177,9	169,4	178,1	171,3	131,3	107.3

(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2021)

Emissionsfaktoren

Nach Angaben des Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV, 2004) wird für die deutsche Braunkohle ein durchschnittlicher Emissionsfaktor von 0,015 m^3 CH_4/t (entspricht 0,011 kg CH_4/t) angenommen. Dieser EF basiert auf einer Untersuchung der RWE Rheinbraun AG von 1989 (DEBRIV, 2004) und wird durch Veröffentlichungen der DGMK (DGMK, 1992) belegt.

Eine Lagerung von Braunkohle erfolgt nicht; die Verwendung erfolgt „mine-mouth“ direkt von der Förderung in die Verarbeitung bzw. in Kraftwerke.

Tabelle 94: Emissionsfaktoren der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau

Emissionsfaktoren	m^3 CH_4/t	kg/t
CH_4 aus Förderung	0,015	0,011

Emissionen und Trend

Tabelle 95: Emissionen der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	3,9 kt	1,4 kt	1,2 kt	-69 %	-14 %	Die Emissionen sinken aufgrund der zurückgegangenen Förderung von Braunkohle.

3.3.1.2.2 Methodik (Tagebau - Braunkohlen)

Die Emissionen aus dem Braunkohlentagebau werden nach dem Tier 2-Ansatz berechnet.

3.3.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Tagebau - Braunkohlen)

Der Emissionsfaktor zur Berechnung der Methanemissionen aus der Braunkohlenförderung basiert auf dem maximalen Methaninhalt und stellt somit eine Obergrenze der möglichen Methanemissionen dar. Mögliche Emissionen aus Transport und Lagerung sind somit bereits enthalten. Zahlreiche Untersuchungen zeigten, dass eine negative Unsicherheit von - 33 % angenommen werden muss (DEBRIV / DGMK Forschungsbericht 448-2, DGMK (1992)).

Für den Emissionsfaktor und die Aktivitätsraten wird eine konsistente Quelle über die gesamte Zeitreihe verwendet.

3.3.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Tagebau - Braunkohlen)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Im Rahmen einer Verifizierung zur aktuellen Berichterstattung wurden verschiedene Datenquellen für Aktivitätsraten im Kohlenbergbau und auch die verwendeten EF mit denen anderer Länder verglichen (siehe Tabelle 96). Der Ländervergleich spezifischer Emissionsfaktoren für den Tagebau zeigt eine große Bandbreite, wobei Deutschland sich im unteren Bereich - vergleichbar mit Polen - bewegt. Tschechien benutzt laut NIR 2011 (S.103) den mittleren IPCC Default Faktor, da in Tschechien häufiger Glanzbraunkohle (oder auch Sub-Bituminous Coal) mit einen höheren Inkohlungsgrad und somit einen höheren Methangehalt abgebaut wird, als vergleichsweise in Polen und Deutschland, wo die Weichbraunkohle (oder auch Lignite) mit einem niedrigeren Inkohlungsgrad vorkommt (Quellen: NaSE-Workshop (2004), persönliche Mitteilung DEBRIV (2004)) Zu diesem Ergebnis kommt ebenfalls ein Gutachten von VERICO (Betzenbichler et al., 2016a).

Tabelle 96: IEF Vergleich mit Nachbarländern für die übertägige Produktion von Braunkohle (nach NIR 2014)

	produzierte Braunkohle	berichtete Emission	IEF
Deutschland	**185,4 Mio. t**	**2,0 kt**	**0,011 kg/t**
Polen	64,3 Mio. t	0,8 kt	0,012 kg/t
Tschechien	43,5 Mio. t	33,5 kt	0,770 kg/t
IPCC GL 2006			0,2 – 1,3 kg/t

Die Emissionsfaktoren des IPCC wurden von der amerikanischen Hartbraunkohle abgeleitet und können laut nationalen Experten nicht auf die deutsche Weichbraunkohle übertragen werden, da diese während des Inkohlungsprozesses eine Temperatur von 50°C nicht überschritten hat. Eine nennenswerte Methanabspaltung findet jedoch erst bei Temperaturen von über 80°C statt (DGMK, 1992).

3.3.1.3 stillgelegter Steinkohlenbergbau

Nach der Stilllegung eines Steinkohlebergwerkes kann aus dem Nebengestein und der noch anstehenden Kohle Methan in die Grubenbaue entweichen. Da keine Bewetterung mehr durchgeführt wird, sammelt sich das Methan und kann durch Gaswegigkeiten im Deckgebirge oder durch Schachtanlagen zu Tage dringen.

Neben der lange Zeit vorherrschenden Betrachtung von Grubengas als negativer Umweltfaktor treten nun verstärkt die positiven Eigenschaften als Energieträger in den Vordergrund (Energetische Verwertung). In der Vergangenheit rechnete sich eine Nutzung des anfallenden Grubengases nur in seltenen Fällen. Diese Situation hat sich im Jahr 2000 mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) grundlegend geändert. Obwohl Grubengas ein fossiler Brennstoff mit erschöpflichem Vorkommen ist, wurde es aufgrund des durch seine Verwendung erzielten Klimaschutzeffekts in das EEG aufgenommen. Damit wurde den Netzbetreibern eine Abnahmeverpflichtung und eine Einspeisungsvergütung für den aus Grubengas erzeugten Strom gesetzlich vorgeschrieben.

Die Ermittlung der Emissionen erfolgt nach dem Modell der DMT ((Meiners, 2018)).

3.3.1.4 Umwandlung von festen Brennstoffen

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	AS	CS
CO_2	Tier 2	AS	CS
NMVOC	Tier 2	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
SO_2	Tier 2	AS	CS

Die IPCC Guidelines 2006 sehen diese Kategorie nicht vor, demzufolge liegt auch kein Entscheidungsbaum vor.

3.3.1.4.1 Beschreibung der Kategorie (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Aktivitätsraten

Tabelle 97: Aktivitätsraten der Veredelungsprodukte [Angaben in Tonnen]

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Braunkohlebrikett	40.045.000	5.010.829	1.819.263	1.489.922	2.024.103	1.709.000	1.471.790	1.285.809
Braunkohlenkoks	3.355.937	191.883	179.453	173.443	175.932	170.000	155.672	145.525
Braunkohlenstaub	3.791.431	2.700.110	2.678.926	2.923.620	3.632.333	4.398.000	4.321.543	3.799.643
Steinkohlenkoks	17.580.000	11.102.000	9.115.000	8.397.000	8.171.000	8.800.000	8.821.502	7.872.481

(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2021); Angaben der DEHSt

Emissionsfaktoren

Der verwendete Emissionsfaktor für Methan zur Berechnung der CH_4-Emissionen aus der Produktion von Steinkohlenkoks (Kokereien) beträgt 0,049 kg Methan pro Tonne Steinkohlenkoks (Meiners, 2005) und wird für die komplette Zeitreihe angewendet. Der CO_2-Emissionsfaktor ermittelt sich aus der konservativen Annahme, dass auf dem Weg zwischen Öffnen der Hochofentür und dem Löschvorgang ca. 1% des Kokses als diffuse Emission verloren gehen. Als Aktivitätsrate wurde die Gesamtmenge an Steinkohlen- und Braunkohlenkoks verwendet.

Die Emissionsfaktoren für die Nicht-Treibhausgase stammen aus dem Forschungsvorhaben "Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung“ (Hensmann et al., 2011).

Tabelle 98: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Steinkohlenkoks

Gas	Emissionsfaktor	Einheit
CH_4	0,049	kg/t
CO_2	2.777[38]	kg/t
CO	0,015	kg/t
NH_3	243,3	mg/t
NMVOC	0,310	kg/t
SO_2	0,076	kg/t

Aus Produkten der Braunkohlenveredelung sind keine Methanemissionen zu erwarten, da der in 1.B.1.a.ii angenommene EF dem Gasinhalt der in Deutschland vorkommenden Braunkohle entspricht. Die weiteren ermittelten Emissionen stammen aus Messungen des derzeit einzigen deutschen Produzenten für Braunkohlenkoks der Herdofenanlage Fortuna-Nord.

In Deutschland werden geringe Mengen an Holzkohle produziert – es gibt einen großen Betreiber und mehrere Schauköhlereien. Diese Mengen werden vom Statistischen Bundesamt erhoben und unterliegen der Geheimhaltung. Die Emissionsfaktoren stammen von der US_EPA (Neulicht, 1995). Die Verwendung von Holzkohle wird unter 2.G.4 berichtet.

[38] Der Emissionsfaktor beinhaltet Stein- und Braunkohlenkoksherstellung

Emissionen und Trend

Tabelle 99: Emissionen der Kategorie 1.B.1.b – Umwandlung von festen Brennstoffen

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	2,4 kt	2,1 kt	1,8 kt	-25 %	-14 %	Die Methanemissionen werden vor allem durch die Holzkohlenproduktion beeinflusst. Die Emissionen aus Kokereien sind seit 1990 aufgrund der gesunkenen Produktion gefallen;
Kohlendioxid	1.819 kt	647 kt	629 kt	-65 %	-3 %	Die Emissionen sind seit 1990 aufgrund der niedrigeren Koksproduktion gefallen;

CO_2-Emissionen aus der Holzkohle-Produktion werden als biogen betrachtet und unter den Memo-Items berichtet

3.3.1.4.2 Methodische Aspekte (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Die Emissionen aus der Steinkohlenkoksproduktion sind nach dem Tier 2 Ansatz, analog der Gleichung des IPCC-Reference Manual für CH_4 -Emissionen aus dem Kohlenbergbau, berechnet worden:

$$\text{Emissionen [kt } CH_4\text{]} = \text{EF [m}^3\ CH_4\ \text{/t]} * AR_{\text{Veredelungsprodukt}} * \text{Umrechnungsfaktor [kt/10}^6\text{m}^3\text{]}$$

3.3.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Die Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren für die Veredelung von Kohlen wurden von Experten auf 10% bis 25% geschätzt.

Für die Aktivitätsraten wird eine konsistente Quelle über die gesamte Zeitreihe verwendet.

3.3.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Bei der Betrachtung von Emissionsfaktoren ist der IPCC Konversionsfaktor von 0,67 Gg/10^6m^3 bei 20°C und 1 Atmosphäre gegenüber den in Deutschland als Einheit Normkubikmeter bei 1,01325 bar und 0°C (DIN 2004, DIN Nr. 1343) verwendeten Angaben zu beachten. Bei Betrachtungen der EF sind Angaben des IPCC zu Default EF bzw. Angaben aus anderen Veröffentlichungen mit der Praxis in Deutschland mit der Angabe von Normkubikmeter zu berücksichtigen. Bei der Verwendung von in Deutschland publizierten Daten zu EF wird davon ausgegangen, dass es sich um Angaben in Normkubikmeter handelt (abgesichert durch Expertenbefragung beim NaSE-Workshop (2004)).

Die Angaben der Guidelines beziehen sich auf 20°C und 1.013 mbar. Anhand der isobaren Proportionalität des Methans kann mit dem Faktor 1,07 von Nm^3 in m^3 umgerechnet werden.

Umrechnungsfaktor Normkubikmeter ⇔ Kilogramm:

0,717 Nm^3/kg (1,01325 bar, 0°C) **= 0,67 Gg/10^6m^3** (20°C, 1 Atmosphäre) *** 1,07 Nm^3/m^3**

Ein Vergleich mit anderen Ländern ist in dieser Kategorie nicht möglich, da die genauen Mengen und die Zusammensetzung der umgewandelten Kohleprodukte sich nicht aus den CRF Tabellen entnehmen lassen. Ferner bieten für einen Vergleich die IPCC Guidelines weder Methoden noch Default-Emissionsfaktoren für die Quellgruppe.

3.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.1 alle)

Durch die Änderung der Steinkohlenkokserzeugung um +10% für 2019 gibt es auch Rückrechnungen in entsprechender Höhe für Methan und Kohlendioxid.

3.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch(1.B.1 alle)

Es sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

3.3.2 Öl und Erdgas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung (1.B.2)

Die Kategorie ist nach folgendem Schema untergliedert:

Quellgruppe				Enthaltene Emissionen
1.B.2. Öl, Gas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung				
	a	**Öl**		
		i)	**Exploration**	Gesamtemissionen aus Erdöl- und Erdgasexplorationsbohrungen
		ii)	**Förderung**	Diffuse Emissionen bei der Förderung von Erdöl sowie der Aufbereitung von Erdöl (Abtrennung von Wasser und Begleitgasen)
		iii)	**Transport**	Emissionen aus Transport von Rohöl mittels Pipelines und Binnentankschiffen
		iv)	**Raffinierung/ Lagerung**	Emissionen aus Entschwefelung und Raffinierung von Öl, der Lagerung von Rohöl und Mineralölprodukten sowie der Reinigung von Lagertanks
		v)	**Verteilung von Ölprodukten**	Emissionen aus Verteilung von Mineralölprodukten, Betankungsprozessen und Tropfverlusten sowie aus Reinigung von Tanks der Transportfahrzeuge
		vi)	**Sonstiges**	Keine Emissionen in dieser Kategorie
	b	**Gas**		
		i)	**Exploration**	Die Emissionen sind der Kategorie 1.B.2.a.i zugeordnet, da keine Differenzierung möglich
		ii)	**Förderung**	Diffuse Emissionen bei der Förderung von Erdgas
		iii)	**Verarbeitung**	Emissionen aus der Entschwefelung und Aufbereitung von Sauergas sowie der Aufbereitung von Stadtgas
		iv)	**Transport**	Emissionen aus Hochdruckfernleitungen sowie unterirdischer Gasspeicherung (Kavernen- und Porenspeicher)
		v)	**Verteilung**	Emissionen aus Erdgasverteilungsleitungen, Obertagespeicher, sowie diffuse Entweichungen aus Tanks von Erdgasfahrzeugen
		vi)	**Sonstiges**	Diffuse Emissionen aus Hausinstallationen in Haushalten, Kleinverbrauchern und der Industrie

Quellgruppe			Enthaltene Emissionen
	c	**Ausblasen und Abfackeln**	
		i) Ausblasen	
		Öl	Die Emissionen sind in den Kategorien 1.B.2.a.iii und 1.B.2.a.v enthalten
		Gas	Die Emissionen sind in den Kategorien 1.B.2.b.iv und 1.B.2.b.v enthalten
		Kombiniert	Keine Emissionen in dieser Kategorie
		ii) Abfackeln	
		Öl	Fackelemissionen bei der Erdölförderung sowie der Raffinierung
		Gas	Fackelemissionen bei der Erdgasförderung, sowie der Sauergasaufbereitung
		Kombiniert	Keine Emissionen in dieser Kategorie
	d	**Sonstiges**	
		i) Geothermie	Im laufenden Betrieb entstehen keine diffusen CO_2-, CH_4 oder N_2O Emissionen. Diffuse F-Gas-Emissionen sind der Kategorie 2.F.9 zugeordnet

3.3.2.1 Öl (1.B.2.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	1 B 2 a, Oil		CO2	477,6	0,0%	393,3	0,1%	-17,7%
-/-	1 B 2 a, Oil		CH4	241,8	0,0%	17,0	0,0%	-93,0%
-/-	1 B 2 a, Oil		N2O	0,3	0,0%	0,3	0,0%	-21,5%

Die Kategorie 1.B.2.a. „Öl“ ist keine Hauptkategorie.

3.3.2.1.1 „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO_2, CH_4	Tier 1	AS	D
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.1.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Bohrfirmen und der Beteiligten in der Branche der Exploration zusammen. In Deutschland wird nach Erdöl und Erdgas gesucht. Es wird in der Statistik nicht nach reinen Erdöl- und Erdgasbohrungen unterschieden.

Aktivitätsraten

Tabelle 100: Anzahl der Explorationsbohrungen (Öl und Erdgas insgesamt)

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
12	17	15	23	16	18	26	12

(BVEG, 2021a)

Tabelle 101: Bohrleistung der Explorationsbohrungen in m (Öl und Erdgas insgesamt)

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
50.140	109.187	41.378	63.994	51.411	32.773	43.416	6.220

(BVEG, 2021a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 102: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.i

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO_2	0,48 kg/No	Tier 1	IPCC GPG 2000
CH_4	64 kg/No	Tier 1	IPCC GPG 2000
NMVOC	576 kg/No	Tier 2	Expertenschätzung

Die Emissionsfaktoren stammen aus den IPCC Good Practice Guidenace 2000 (Penman et al., 2000), da in den IPCC GL 2006 ((IPCC, 2006b): Tabelle 4.2.4) beziehen sich auf eine Produktionsmenge und nicht auf Explorationsbohrungen. Daher können diese nicht angewendet werden.

Emissionen und Trend

Tabelle 103: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.i

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	768 kg	1.664 kg	768 kg	0 %	-46 %	Die Emissionen steigen gegenüber 1990 aufgrund der gestiegenen Bohraktivität.
Kohlendioxid	5,76 kg	12,48 kg	5,76 kg	0 %	-46 %	
NMVOC	6.912 kg	14.976 kg	6.912 kg	0 %	-46 %	

3.3.2.1.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Nach Aussagen des BVEG treten so gut wie keine diffusen Emissionen bei Bohrvorgängen auf, da an Bohrlöchern regelmäßig Messungen durchgeführt (Methansensoren in der Schutzhütte um das Bohrloch, Ultraschallmessungen, Ringraummanometer) und alte nicht mehr genutzte Bohrungen verfüllt und in der Regel mit einem Betondeckel versehen werden.

Da keine Messergebnisse der einzelnen Bohrungen vorliegen, werden, um konservativ zu schätzen, die Emissionen für Bohrungen auf Grundlage des Default-Faktors nach den IPCC GPG 2000 (Penman et al., 2000) für Kohlendioxid und Methan nach dem Tier 1 Ansatz berechnet. Es wurde für die konservative Schätzung die Summe der Emissionsfaktoren für „Drilling“, „Testing“ und „Servicing“ verwendet

3.3.2.1.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten für Erdöl- und Erdgasexploration werden mit +/- 5 % quantifiziert. Den Emissionsfaktoren werden die Default-Unsicherheiten der Good-Practice-Guidance 2000 von +/- 25 % zugeordnet.

Für die Aktivitätsraten und die Emissionsfaktoren wird eine konsistente Quelle über die gesamte Zeitreihe verwendet.

3.3.2.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Aufgrund fehlender landesspezifischer Daten wurde ein externes Gutachten (Bender, 2009b) in Auftrag gegeben. Es kam in seiner Quellgruppenanalyse zu dem Ergebnis, dass die Default-Faktoren für Deutschland anwendbar sind. Ein Vergleich mit anderen Ländern konnte aufgrund der geringen Vergleichsmöglichkeiten und aufgrund nicht ineinander umrechenbarer Einheiten nicht durchgeführt werden.

3.3.2.1.2 „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO_2, CH_4	Tier 2	AS	CS
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.2.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Förderung (Rohöl) und der Vorbehandlung von Rohstoffen (Erdöl) der Erdölindustrie zusammen. Die Förderung von Erdöl in Deutschland ist wegen ihrer alten Lagerstätten sehr energieintensiv (Thermalförderung, Pumpenbetrieb zur Wassereinpressung in die Lagerstätte).

Die Vorbehandlung des geförderten Erdöls (Rohöls) in Aufbereitungsanlagen dient der Entgasung, Entwässerung und Entsalzung von Rohöl. Die unmittelbar aus den Bohrlöchern gewonnenen Rohöle entsprechen in ihrer Zusammensetzung nicht den Erfordernissen zum sicheren und problemlosen Transport in Rohrleitungen, da sie Verunreinigungen, einen Gasanteil und vor allem Wasser enthalten. Es erfolgt keine Stoffumwandlung. Störende Beimengungen, insbesondere mit dem Erdöl gefördertes Begleitgas (Erdölgas), Salze und Wasser werden entfernt, um Rohöl geeigneter Qualität für die Beförderung in Rohrleitungen (Pipelines) zu erzeugen.

Aktivitätsraten

Tabelle 104: Fördermenge Erdöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
3.606	2.959	3.113	3.573	2.516	2.414	1.927	1.907

(BVEG, 2021a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 105: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung und Aufbereitung

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO_2	115 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
CH_4	14 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	16 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 106: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.ii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	1.081 t	32 t	22 t	-98 %	-31 %	Die Emissionen sinken gegenüber 1990 aufgrund fallender Produktionsmenge und verbesserter emissionsmindender Techniken im Bereich Förderung und Aufbereitung.
Kohlendioxid	460 t	254 t	254 t	-45 %	0 %	
NMVOC	108 t	35 t	35 t	-68 %	-1 %	

3.3.2.1.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Die Emissionen aus der Förderung und Aufbereitung werden von den Betreibern gemessen bzw. errechnet und im jährlichen BVEG Bericht (BVEG, 2021a)veröffentlicht. Die Emissionsfaktoren werden aus den berichteten Emissionen und der Aktivitätsrate in Tabelle 104 ermittelt.

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier 2 Ansatz.

3.3.2.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei der Aktivitätsrate mit 5 bis 10 % angegeben und beruhen auf Schätzungen von Experten des BVEG und der nationalen Experten.

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in der Kategorie entsprechen 25 %.

3.3.2.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen der Größenordnung der IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006b) angegebenen Emissionsfaktoren.

Tabelle 107: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m³]	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4) Einheit in [Gg/1000m³]	Einheit in [g/m³]
CO_2	115 g/m³	$1{,}1*10^{-07}$ bis $2{,}6*10^{-04}$	0,11 – 260,00
CH_4	14 g/m³	$1{,}5*10^{-06}$ bis $6{,}0*10^{-02}$	1,50 – 60.000
NMVOC	16 g/m³	$1{,}8*10^{-06}$ bis $4{,}5*10^{-03}$	1,80 – 4500,0

3.3.2.1.3 „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	AS	CS
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.3.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Logistikunternehmen und Betreiber von Rohrleitungen und Rohrleitungsnetzen zusammen. Nach der Vorbehandlung wird Rohöl zu den Anlagen der Verarbeitung befördert.

Der Transport von Rohöl erfolgt fast ausschließlich mittels Rohrfernleitungen. Die Rohrfernleitungen sind ortsfest und im Regelfall unterirdisch verlegt. Anders als beim übrigen Verkehr wird der Transport nicht durch Umschlagvorgänge unterbrochen.

Aktivitätsraten

Tabelle 108: Transport von im Inland produziertem Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
3.606	2.959	3.113	3.573	2.516	2.414	1.927	1.907

(BVEG, 2021a)

Tabelle 109: Transport von importiertem Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
84.043	86.063	89.280	97.474	93.270	91.275	85.991	83.049

(BAFA, 2021)

Tabelle 110: Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
88,9	66,6	111,8	176,4	5,6	43,1	47,2	46,4

(DESTATIS, 2021)

Emissionsfaktoren

Tabelle 111: Verwendete Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.iii „Transport von Rohöl“

Quellgruppe	Aktivität (AR)	Einheit	Gas	Emissionsfaktor (EF)	Einheit
Transport von importiertem Rohöl	83,0	Mio. t/a	NMVOC	0,0064	kg/t
			CH_4	0,0064	
Transport von im Inland produziertem Rohöl	1,9		NMVOC	0,13	
			CH_4	0,013	
Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen	46,2	kt/a	NMVOC	0,34	
			CH_4	0,034	
			CH_4	0,013	

Emissionen und Trend

Tabelle 112: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
NMVOC	5.885 t	5.770 t	5.579 t	-2 %	-3 %	Der steigende Trend wird im Wesentlichen durch die höhere Menge an transportiertem Öl bestimmt.
CH_4	588 t	577 t	558 t	-2 %	-3%	

3.3.2.1.3.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

Der Emissionsfaktor für Methan wurde für die Pipelines aus den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006b) übernommen, für die Binnentankschiffe von Experten geschätzt. Im Forschungsvorhaben „Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich 1.B.2.a.i bis vi“ (Theloke et al., 2013) wurden diese Emissionsfaktoren bestätigt. Da Rohrfernleitungen ständig überwacht werden und es nur sehr selten zu Störfällen kommt (CONCAWE – „Performance of European cross country oil pipelines“ (Cech et al., 2017)) treten Emissionen nur in geringen Maßen an Umschlagspunkten auf. Der Emissionsfaktor ist daher sehr konservativ.

Der Emissionsfaktor beinhaltet den Umschlag/das Einpumpen in der Förderstation und sämtliche Infrastruktur (Verbindungen, Regler, Messgeräte) entlang der Pipelines sowie den Umschlag an der Raffinerie und wurde unter konservativen Annahmen ermittelt. Für die importierte Menge wird nur ein Übergabepunkt (nur Ausspeisestation) angenommen, da die Einspeisestation ins Pipelinenetz nicht auf nationalem Gebiet liegt.

3.3.2.1.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren werden mit +/- 20 % quantifiziert, die Aktivitätsraten mit +/- 10 %. Die Emissionsfaktoren und die Aktivitätsraten sind über die gesamte Zeitreihe konsistent.

3.3.2.1.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen der Größenordnung der in den IPCC Guidelines 2006 angegebenen Emissionsfaktoren.

Im ESD Review 2016 wurde angemerkt, dass Deutschland keine CO_2-Emissionen in dieser Kategorie berichtet, obwohl die IPCC Guidelines 2006 einen Tier-1-Default-Wert ausweisen.

Nach einem Telefongespräch zwischen Experten des Umweltbundesamtes und des MWV (Bittkau, 2017) wurde bestätigt, dass kein CO_2 aus Transportleitungen emittiert.

Tabelle 113: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m³]	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4) Einheit in [Gg/1000m³]	Einheit in [g/m³]
CH_4	6 g/m³	5,4*10-06	5,4
NMVOC	55 g/m³	5,4*10-05	54,0

3.3.2.1.4 „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	AS	CS
CH_4	Tier 2	AS	CS
SO_2	Tier 2	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
NO_x	Tier 2	AS	CS
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.4.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Raffinerien und der Verarbeitungsbetriebe der Mineralölindustrie zusammen. In Deutschland werden Rohöl und Mineralölzwischenprodukte verarbeitet. Die Betriebe erhalten überwiegend Rohöl zur Verarbeitung. Die Verarbeitung erfolgt in technisch modernen Anlagen.

Raffinerietanklager enthalten sowohl Rohöle als auch Zwischen- und Fertigprodukte und unterscheiden sich daher von raffineriefernen Tanklagern sowohl hinsichtlich der gelagerten Produkte als auch der umgeschlagenen Mengen. Raffinerieferne Tanklager dienen insbesondere der Zwischenlagerung von Heizöl, Ottokraftstoffen sowie Diesel. Die Lagerkapazitäten von Kavernen zur Lagerung von Mineralölprodukten werden gesondert angegeben. Aufgrund der Struktur der Kavernen kann davon ausgegangen werden, dass es zu keinen Emissionen flüchtiger Verbindungen kommt, dies wird in der Berechnung der Emissionen berücksichtigt.

Für Tankprüfungen und zu Reparaturzwecken werden Tanks geleert und gereinigt. Bei der Tankreinigung wird zwischen Rohöltanks und Produktentanks unterschieden. Die Rohöltankreinigung ist aufgrund der Sedimentabsetzungen wesentlich aufwendiger als bei Produktentanks. Diese enthalten keine sedimentierbaren Stoffe und werden deshalb nur bei Produktwechsel gereinigt. Entsprechend einer Abschätzung von Bender (2009a) kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionsfaktoren für die Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten Reinigungsvorgänge mit berücksichtigen.

Aktivitätsraten

Tabelle 114: Verarbeitete Menge an Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
107.058	96.475	107.632	114.589	95.378	93.391	87.013	83.990

(MWV, 2021a)

Tabelle 115: Auslastungsgrad der Raffinerien in Prozent

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
106,2	92,1	95,3	99,5	81,1	91	84,8	81,8

(MWV, 2021a)

Tabelle 116: Rohöldestillationskapazität in Raffinerien, in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
100.765	104.750	112.940	115.630	117.630	103.080	102.655	105.655

(MWV, 2021a)

Tabelle 117: Lagerkapazität von Tanklagern in Raffinerien und Pipelineterminals, in Mio m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
27,2	28,4	24,9	24,0	22,5	22,1	20,7	20,7

(MWV, 2021a) (Koj, 2021)

Tabelle 118: Lagerkapazität von raffineriefernen Tanklagern inklusive Kavernen, in Mio m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
15,4	15,9	18,1	17,0	15,95	15,3	15,4	15,3

(MWV, 2021a) (Koj, 2021)

Tabelle 119: Lagerkapazität von Kavernen, in Mio m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
26,6	25,3	27,9	27,2	27,3	25,5	26,7	25,5

(MWV, 2021a) (Koj, 2021)

Emissionsfaktoren

Tabelle 120: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.vi „Diffuse Emissionen in Raffinerien“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH_4	0,225 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO	0,494 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO_2	537,01 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
SO_2	0,854 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	7,24 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NO_x	6,02 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 121: Verwendeter Emissionsfaktor für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Anodenherstellung in Raffinerien“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO_2	190,4 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 122: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung und Reinigung von Rohöl in Tanklagern von Raffinerien“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH_4	0,172 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	0,0227 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 123: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten (Brennstoffe) in raffineriefernen Tanklagern“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH_4	5 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	100 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 124: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iv

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Kohlendioxid	477.166 t	411.109 t	393.070 t	-18 %	-4 %	Der Trend beim CO2 wird durch die Kalzinierung, die Clausanlage und Anodenherstellung beeinflusst. Der fallende Trend wird bei Methan und NMVOC durch verbesserte Emissionsminderungstechniken in Raffinerien und bei der Lagerung von Raffinerieprodukten beeinflusst.
Methan	8.003 t	37,3 t	37,1 t	- 99 %	-1 %	
NMVOC	73.151 t	3.912 t	3.897 t	- 95 %	-1 %	

3.3.2.1.4.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Die Berechnung der Emissionen erfolgt für alle Teilbereiche nach dem Tier-2 Ansatz.

Verarbeitung

Die verwendeten Emissionsfaktoren für NMVOC, CH_4, CO_2, CO, NO_x und SO_2 wurden durch ein Forschungsvorhaben (Bender & von Müller, 2019) unter Auswertung der Emissionserklärungen von 2004 bis 2016 ermittelt.

Anodenherstellung

Die Aktivitätsrate errechnet sich aus der Menge an Petrolkoks abzüglich des Eigenverbrauchs (Katalysatorabbrand – siehe 1.A.1.b). Die Daten stammen aus der amtlichen Mineralölstatistik. Dieser sogenannte Grünkoks wird zur Veredelung durch eine Kalzinierung verarbeitet. Der Emissionsfaktor errechnet sich aus dieser Aktivitätsrate und den Emissionsdaten des ETS.

Tanklager in Raffinerien

Nach Ergebnissen des Forschungsprojekts „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV - Bereich Lageranlagen“ (Bender, 2009a) wird für die Abschätzung der Emissionen aus der Lagerung in Raffinerien als Aktivitätsrate die Rohöldestillationskapazität herangezogen. Als Emissionsfaktor kann für die diffusen VOC-Emissionen der in der VDI-Richtlinie 2440 (VDI, 2000) genannte Wert von 0,16 kg/t angesetzt werden. Davon abgeleitet wurde der EF für Methan (5-10 % von 0,16 kg) und entsprechend abgezogen.

Raffinerieferne Tanklager

Aus der Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen lassen sich laut Müller-BBM (Bender, 2009a) wegen des offensichtlich sehr unterschiedlichen Emissionsverhaltens der einzelnen Anlagen keine für Einzelanlagen repräsentative Emissionsfaktoren ableiten. Es konnten jedoch aggregierte Emissionsfaktoren gebildet werden, indem für die jeweiligen Datenkollektive die Summen aller Emissionen auf die Summen aller Kapazitäten bezogen wurden. In raffinieriefernen Tanklagern kann zwischen der Lagerung von flüssigen und gasförmigen Mineralölprodukten unterschieden werden, da die Daten in der entsprechenden Differenzierung vorliegen. Die Emissionen der gasförmigen Mineralölprodukte werden der Lagerung chemischer Produkte (CRF 2.B.10) zugeordnet. Darüberhinaus wird mittels Splitfaktor bei den flüssigen Mineralölprodukten die Brennstoffe und die chem. Produkte unterschieden. Während die Brennstoffe unter 1.B.2 berichtet werden, sind die chem. Produkte unter 2.B.10 zu finden.

Clausanlagen

Die verwendeten Emissionsfaktoren für NMVOC, CO, NO_x und SO_2 wurden durch ein Forschungsvorhaben (Bender & von Müller, 2019) unter Auswertung der Emissionserklärungen

der Raffineriestandorte von 2004 bis 2016 ermittelt. Da keine Daten für frühere Jahre vorliegen, wurden die ermittelten Daten für alle Jahre ab 1990 angewendet.

3.3.2.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Für die Emissionsfaktoren für die Verarbeitung von Rohöl wurden Unsicherheiten von +/- 20 % angenommen. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden mit +/- 10 % angenommen. Für den Bereich Lagerung und Reinigung werden die Gesamtunsicherheiten der Emissionen mit +/- 40 % eingeschätzt. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von nationalen Experten sowie aus dem Forschungsbericht von Müller-BBM (Bender, 2009a) und (Theloke et al., 2013).

Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten sind über die komplette Zeitreihe konsistent.

3.3.2.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Abgleich mit anderen Ländern ist aufgrund der Komplexität der Kategorie nicht möglich. Dies wurde auch auf dem EU Workshop 2014 (Harthan et al., 2017) deutlich.

3.3.2.1.5 „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.5.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Die Kategorie umfasst den Transport und Umschlag von Ölprodukten mittels Binnentankschiffen, Rohrleitungen, Eisenbahnkesselwagen, Straßentankfahrzeugen und Kanistern sowie die Reinigung der Transportfahrzeuge.

Aktivitätsraten

Tabelle 125: Tankstellenbestand in Deutschland, Anzahl

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
19.317	17.957	16.324	15.187	14.744	14.531	14.449	14.459

(MWV, 2021a)

Tabelle 126: Verteilte Mengen an Mineralölprodukten, in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Dieselkraftstoff	21.817	26.208	28.922	28.531	32.128	36.756	37.848	35.163
Flugturbinenkraftstoff	4.584	5.455	6.939	8.049	8.465	8.550	10.239	4.725
Leichtes Heizöl	31.803	34.785	27.875	25.380	21.005	16.127	15.061	15.558
Ottokraftstoff	31.257	30.333	28.833	23.431	19.634	18.226	17.966	16.218

(BAFA, 2021)

Emissionsfaktoren

Die nachfolgend aufgeführten Emissionsfaktoren wurden in der Studie (Theloke et al., 2013) verifiziert. Das Modell bei der Emissionsberechnung von Ottokraftstoffen wird im Kapitel 3.3.2.1.5.2 erläutert.

Mineralölprodukte werden mittels Binnentankschiffen, Rohrleitungen für Produkte, Eisenbahnkesselwagen und Straßentankfahrzeugen transportiert und zwischen den jeweiligen Tanks umgeschlagen. Die Betankungsemissionen von Flugzeugen werden von Experten als nicht

vorhanden eingeordnet, da bei der Betankung Trockenkupplungen zum Einsatz kommen. Die Emissionen bei der Befüllung von privaten Heizölkesseltanks sind durch hohe Sicherheitsstandards ebenfalls sehr gering.

In dieser Kategorie werden Mineralölprodukte umgeschlagen und verteilt, die in der Raffinerie einer fraktionierten Destillation unterzogen wurden, bei der gasförmige Produkte bereits abgetrennt wurden – daher werden keine signifikanten Methanemissionen erwartet. Lediglich bei der Lagerung einiger Mineralölprodukte können geringe Mengen Methan entweichen.

Tabelle 127: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Ottokraftstoffen“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an der Tankstelle	0,117 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tankwagen zu Tankstelle (20. BImSchV – Gaspendelung)	1,4[39] kg/t	M (Tier 2)	Expertenschätzung
Ventilierung beim Transport mit Binnentankschiffen	0,025 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug (21. BImSchV – Gasrückführung)	1,4 kg/t	M (Tier 2)	Expertenschätzung

Tabelle 128: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Dieselkraftstoffen“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an Tankstelle	0,1 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Transport von Raffinerie zu Transportfahrzeug	0,008 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug	0,003 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 129: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von leichtem Heizöl“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an Umschlagsstation	0,0011 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Transport von Raffinerie zu Transportfahrzeug	0,0053 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug	0,0063 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 130: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Flugturbinenkraftstoffen“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an Umschlagsstation	0 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Transport von Raffinerie zu Transportfahrzeug	0,055 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug	0,02 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 131: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Reinigung“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t][40]	Methode	Quelle
Reinigung von Strassentankwagen	0,8 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
Reinigung von Eisenbahnkesselwagen	0,4 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
Reinigung von Binnentankschiffen	0,004 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

[39] Faktor ist ohne Minderungsmaßnahmen – siehe hierzu Tabelle 133

[40] Bezugsgröße ist die gesamte Menge an Ottokraftstoffen, die in Deutschland mit dem Verkehrsmittel transportiert wurde

Emissionen und Trend

Tabelle 132: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.v

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
NMVOC	87,8 kt	16,9 kt	15,8 kt	- 82 %	-6 %	Die sinkenden Emissionen sind im Wesentlichen auf die Einführung der 20. und 21. BImSchV zurückzuführen und die damit verbundene stufenweise Einführung von Gasrückführungs- und Gaspendelungsanlagen

3.3.2.1.5.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Transport

Nach dem Transport von Ottokraftstoffen mittels ***Binnentankschiffen*** befinden sich in den entladenen Tanks noch erhebliche Mengen an Ottokraftstoffdämpfen. Die Tanks müssen z.B. bei Ladungswechsel oder Werftaufenthalt entgast (ventiliert) werden (Bauer et al., 2010).

Aus Ottokraftstoffen, die in Deutschland mittels ***Eisenbahnkesselwagen*** transportiert und umgeschlagen werden, entstehen ca. jährlich 1400 t VOC Emissionen (Joas et al., 2004). Die Logistikkette umfasst das Befüllen, den Transport, das Entleeren und die Reingung. Es ist davon auszugehen, das die Emissionen beim Transport und Entleeren vernachlässigbar sind.

Von der Raffinerie wird die Hälfte der Tankstellen direkt **mit Straßentankfahrzeugen** beliefert, die andere Hälfte wird über Zwischenlager versorgt, allerdings wird hier jedes dritte Zwischenlager über Pipelines versorgt (Winkler, 2004).

Pipelines verursachen als Transportmittel keine nennenswerten Emissionen. (Winkler, 2004) Diffuse Verluste an Pipelinepumen oder -flanschen sind nach Aussagen des DGMK vernachlässigbar (Theloke, 2013).

Tankstellen

Beim Umfüllen aus Tankfahrzeugen in Lagertanks und bei der Betankung von Kraftfahrzeugen gelangt eine bedeutsame Menge an diffusen Emissionen von VOC in die Umwelt. Zur Ermittlung der Emissionen wird ein einheitlicher Emissionsfaktor von 1,4 kg/t herangezogen. Dies entspricht der Sättigungskonzentration von Kohlenwasserstoffdämpfen und damit der maximal möglichen Emissionsmenge ohne Minderungsmaßnahmen.

Mit den 1992 und 1993 immissionsschutzrechtlichen Vorschriften (20. BImSchV, 2017; 21. BImSchV, 2017) für Tankstellen zur Begrenzung dieser Emissionen wurden Minderungsmaßnahmen gefordert. Diese betreffen sowohl den Bereich des Umfüllens und der Lagerung von Ottokraftstoffen (20. BImSchV, 2017) als auch den Bereich der Betankung von Fahrzeugen mit Ottokraftstoffen an Tankstellen (21. BImSchV).

Der Einsatz vorgeschriebener Minderungstechniken wie die Installation von Gaspendelungs- (20. BImSchV) und Gasrückführungssystemen (21. BImSchV) und der Einsatz von automatischen Überwachungseinheiten (mit der Novellierung der 21. BImSchV am 6.5.2002) führten zu einem stetigen Rückgang der VOC-Emissionen, was durch den Anwendungsgrad abgebildet wird (Tabelle 133).

Für die Berechnung der Emissionen werden die Anwendungs- und Wirkungsgrade der beiden Verordnungen auf den Tankstellenbestand mit berücksichtigt. Mit den derzeit vorhandenen technischen Möglichkeiten wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

Tabelle 133: Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen

Verordnung		Faktor	
20. BImSchV	Gaspendelung	Anwendungsgrad	98 %
		Wirkungsgrad	98 %
21. BImSchV	Gasrückführung	Anwendungsgrad	98 %
		Wirkungsgrad	85 %

Für die Berechnung der Emissionen wird dann folgende Formel herangezogen:

> Emission = Aktivitätsrate * ungeminderter Emissionsfaktor (aus Tabelle 127) * (Anwendungsgrad * (1 - Wirkungsgrad) + (1 - Anwendungsgrad))

Ferner tritt an den Tankschläuchen eine Permeation von Kohlenwasserstoffen auf. Die DIN EN 1360 setzt einen Höchstwert von 12 ml/Schlauchmeter am Tag fest. Experten des UBA haben aus Auswertungen von Messungen einen konservativen Faktor von 10ml/m am Tag angenommen. Dieser wird zur Ermittlung der NMVOC-Emissionen herangezogen. Die Berechnung erfolgt nach der Formel des Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart (Haas, 2015):

> Anzahl Tankstellen * Zapfsäulen pro Tankstelle * Schläuche pro Zapfsäule * Schlauchlänge * Emissionsfaktor.

Kanisterbetankung

Beim Umfüllen aus Kanistern in Tanks von motorbetriebenen Freizeitbooten gelangt eine kleine Menge an diffusen VOC Emissionen in die Umwelt. Zur Ermittlung der Emissionen wird wie bei den Tankstellen ein einheitlicher Emissionsfaktor von 1,4 kg/t herangezogen, ermittelt aus der Sättigungskonzentration von Kohlenwasserstoffdämpfen und damit der maximal möglichen Emissionsmenge. Darüberhinaus wird angenommen, dass bei einem durchschnittlichen Kanistervolumen von 15 l und einem geschätzten Tropfverlust von 1 kg/t sowie der Annahme, dass 0,24% der Bevölkerung ein motorbetriebenes Boot in Deutschland besitzen (Mell, 2008), es zu insgesamt 1,9 Millionen Betankungsvorgängen pro kommt. Hiervon ausgenommen sind sämtliche Betankungen über Wassertankstellen – diese Emissionen sind bereits in der Rubrik „Tankstellen“ enthalten.

Reinigung von Transportfahrzeugen

Die Tankinnenreinigung wird vor Reparaturarbeiten, vor Sicherheitsprüfungen, bei einem Produktwechsel oder bei einem Mietwechsel durchgeführt.

Derzeit wird im Inventar die Reinigung von Eisenbahnkesselwagen berücksichtigt. Die bei der Entleerung der Eisenbahnkesselwagen verbleibenden Restmengen, zwischen 0 und 30 Litern (in Ausnahmefällen bis zu mehreren 100 Litern), emittieren in der Regel nicht vollständig. Sie sind eine Quelle für Emissionen bei der Tankinnenreinigung.

Jährlich erfolgen etwa 2.500 Reinigungsvorgänge bei Ottokraftstoffkesselwagen. Die bei der Tankinnenreinigung von Kesselwagen entstehenden Emissionen über die Abluft betragen ca. 40.000 kg/a VOC (Joas et al., 2004), S.34.

Weitere Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung können nur noch gering die Emissionen in dieser Kategorie beeinflussen. Durch eine Kombination verschiedener technischer und organisatorischer Maßnahmen lassen sich die aktuellen Emissionen jedoch noch etwas weiter reduzieren. Eine wesentliche Ursache für Emissionen während der Handhabung z.B. beim Umschlag in Eisenbahnkesselwagen sind vor allem die Restmengen, die beim Entleeren zurückbleiben und beim nächsten Befüllvorgang über das Mannloch emittieren können. In diesem Zusammenhang wird untersucht, inwieweit die „best practice“ an allen

Umschlagstationen konsequent umgesetzt werden und dies bei der Bestimmung der Emissionen berücksichtigt werden muss. Außerdem führt eine Verbesserung des Tankeinfüllstutzens zu einem höheren Wirkungsgrad bezüglich der Vermeidung der VOC-Emissionen während des Betankungsvorgangs.

Es wird davon ausgegangen, dass die im Bericht vorgenommene Aufteilung von 1/3 zu 2/3 auch auf die entstehenden Emissionen bei der Reinigung bezogen werden kann.

3.3.2.1.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsfaktoren mit +/- 20% (95%-Konfidenzintervall, Normalverteilung) angegeben, die Aktivitätsraten zu +/- 5% quantifiziert (Theloke et al., 2013).

3.3.2.1.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich mit anderen Ländern lässt sich nicht durchführen, da in den CRF-Tabellen nicht ersichtlich ist, welche Faktoren für die berichteten Emissionen einen Einfluss hatten. Ferner haben in der Submission 2013 lediglich Spanien und Schweden NMVOC Emissionen in diese Kategorie berichtet. Bei den Methanemissionen lassen sich nur für Island und Kroatien IEF ableiten. Ein Abgleich mit den IPCC Guidelines 2006 lässt sich nicht durchführen, da dort keine Default-Faktoren angegeben sind.

3.3.2.2 Gas (1.B.2.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/-	**1 B 2 b, Natural Gas**		**CH4**	**7.997,4**	**0,6%**	**4.765,0**	**0,7%**	**-40,4%**
-/-	1 B 2 b, Natural Gas		CO2	986,5	0,1%	470,8	0,1%	-52,3%

Die Kategorie 1.B.2.b „Erdgas“ ist für CH_4-Emissionen aus Erdgas eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe.

3.3.2.2.1 „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4	IE	IE	IE
NMVOC	IE	IE	IE

3.3.2.2.1.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Die Kategorie 1.B.2.b.i wird zusammen mit der Kategorie 1.B.2.a.i (Exploration, Erdöl) behandelt. Dementsprechend sind die zusammengefassten nicht unterteilten Daten von 1.B.2.b.i in der Kategorie 1.B.2.a.i enthalten.

3.3.2.2.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Eine Differenzierung der Explorationen nach Öl und Gas wurde untersucht (Herold et al., 2014), jedoch aufgrund fehlender Statistiken und der sehr geringen Emissionsmengen nicht weiter verfolgt. Die Emissionen sind somit komplett für Öl- und Gasexploration unter 1.B.2.a.i ausgewiesen.

3.3.2.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Zur Erläuterung der Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz 1.B.2.a.i.

3.3.2.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

3.3.2.2.2 „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO_2, CH_4	Tier 2	AS	CS
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten bei der Förderung zusammen.

Aktivitätsraten

Tabelle 134: Fördermenge Erdgas in Mrd m^3

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
15,3	19,1	20,1	18,8	12,7	8,6	6,1	5,2

(BVEG, 2021a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 135: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO_2	0,1 g/m^3	Tier 2	Expertenschätzung
CH_4	0,05 g/m^3	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	0,002 g/m^3	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 136: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.ii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	5.799 t	273 t	258 t	-96%	-5%	Der Erfassung von Luftemissionen der E&P-Industrie erfolgt nach einem industrieweit abgestimmten Verfahren[41]. Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade. Die Emissionen sinken gegenüber 1990 aufgrund fallender Produktionsmenge und verbesserter emissionsmindender Techniken
Kohlendioxid	1.450 t	667 t	512 t	-65%	-23%	
NMVOC	580 t	30 t	10 t	-98%	--66%	

3.3.2.2.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Die Emissionen aus der Förderung werden seit 1998 durch den BVEG ermittelt und im Statistischen Bericht (BVEG, 2021a) publiziert. Vor 1998 wurden die Emissionen mittels Default-Faktoren aus den IPCC Guidelines 2006 ermittelt. Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

[41] WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

3.3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei der Aktivitätsrate mit 5 % angegeben und beruhen auf Schätzungen von Experten des BVEG und der nationalen Experten.

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in der Kategorie entsprechen 25 %.

3.3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen der Größenordnung der in den IPCC Guidelines 2006 angegebenen Emissionsfaktoren.

Tabelle 137: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m³]	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.5) Einheit in [Gg/10⁶m³]	Einheit in [g/m³]
CO_2	0,1 g/m³	$1,4*10^{-05}$ bis $1,8*10^{-04}$	0,014 – 0,18
CH_4	0,05 g/m³	$3,8*10^{-04}$ bis $2,4*10^{-02}$	0,380 – 24,0
NMVOC	0,002 g/m³	$9,1*10^{-05}$ bis $1,2*10^{-03}$	0,091 – 1,20

3.3.2.2.3 Gas, Verarbeitung (1.B.2.b.iii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO_2, CH_4	Tier 2	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
SO_2, NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Vorbehandlung und Verarbeitung zusammen.

Aus der Tiefe kommendes Erdgas wird über Tage zunächst in Trocknungs- und Aufbereitungsanlagen behandelt. Diese Vorbehandlung des Erdgases findet in der Regel in Anlagen auf der Förderstation statt. Dabei werden mitgefördertes Lagerstättenwasser, flüssige Kohlenwasserstoffe und Feststoffe abgeschieden. Der noch verbliebene Wasserdampf wird dem Gas unter Verwendung von Glykol entzogen (WEG (2008))[42]: S. 25). Gastrocknungsanlagen sind in sich geschlossene Systeme, bei denen alle Überdruckabsicherungen aus Sicherheitsgründen in ein Fackelsystem eingebunden sind. Für den Fall der Auslösung dieser Druckabsicherung wird das überschüssige Gas zu einer Fackelspitze geleitet und kann dort sicher verbrannt werden. Das nach der Trocknung verkaufsgerechte Erdgas kann dem Kunden direkt über Pipelines geliefert werden (EXXON, 2014). Die Menge an abgefackeltem Gas wird unter 1.B.2.c berichtet.

Das aus der geologischen Formation des Zechsteins in Deutschland geförderte schwefelwasserstoffhaltige Erdgas - so genanntes Sauergas - erfordert eine spezielle Aufbereitung. Dieses Gas wird durch gesonderte und wegen der Gefährlichkeit des Schwefelwasserstoffs zusätzlich gesicherte Rohrleitungen in die deutschen Aufbereitungsanlagen transportiert, wo ihm in chemisch-physikalischen Waschprozessen der Schwefelwasserstoff entzogen wird. In Deutschland werden bei der Erdgasförderung ca. 40 % Sauergas mitgefördert (WEG, 2008).

[42] WEG 2008a: Erdgas-Erdöl, Entstehung-Suche-Förderung, Hannover, 34 Seiten

Das Erdgas verlässt die Aufbereitungsanlage in verbrauchsfähiger Qualität. Der Schwefelwasserstoff wird in elementaren Schwefel umgewandelt und dient hauptsächlich der chemischen Industrie als Grundstoff.

Biogas/Biomethan

Die Erzeugung von Biogas wird unter CRF 3.B berichtet. Dieses Biogas wird zum einen direkt vor Ort verstromt (Emissionen werden unter CRF 1.A berichtet), zum anderen als Biomethan in das Gasnetz eingeleitet. Vor der Einleitung muss es auf Erdgasqualität aufbereitet werden (Emissionen werden unter CRF 3.B berichtet). Gemäß der IPCC Guidelines 2006 wird Methan nicht nach fossil und biogen unterschieden. Daher gibt es keine Differenzierung unter CRF 1.B.2 nach fossil und biogen.

Aktivitätsraten

Tabelle 138: Schwefelproduktion aus der Erdgasgewinnung in Deutschland in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
915	1.053	1.100	1.050	832	628	460	353

(BVEG, 2021a)

Die Förderung von Erdgas wird im Kapitel 3.3.2.2.2.1 in Tabelle 134 aufgelistet.

Emissionsfaktoren

Tabelle 139: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iii „Aufbereitung“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
NMVOC	0,004 kg/ Tsd. m³		
CH_4	0,05 kg/ Tsd. m³	Tier 2	Verbandsdaten
CO_2	325 kg/ Tsd. m³		

Emissionen und Trend

Tabelle 140: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	5.340 t	121 t	103 t	-98%	-15%	Der Erfassung von Luftemissionen der E&P-Industrie erfolgt nach einem industrieweit abgestimmten Verfahren[43]. Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade.
Kohlendioxid	983 kt	623 kt	496 kt	-50%	-20%	
NMVOC	12 t	10 t	8 t	-33%	-20%	

3.3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iii)

Die Berechnung der Emissionen erfolgte nach dem Tier-2 Ansatz.

Für die Sauergasaufbereitung werden Daten des BVEG (ehemalig WEG) seit 2000 verwendet. Diese stammen aus Messungen und Berechnungen der Mitglieder. Vor 2000 wird der mittlere CO_2-Emissionsfaktor von 0,23 t/Tsd.m³ aus Österreich angewandt, da nach Aussagen des BVEG die deutsche Entschwefelungsanlage mit der österreichischen Anlage vergleichbar ist.

Zur Berechnung der Emissionen aus der Sauergasaufbereitung wird ein Splitfaktor bezogen auf die Aktivitätsrate von 0,4 verwendet. Diese Angabe zum Splitfaktor basiert auf dem WEG-Bericht zur Sauergasbehandlung (WEG, 2008).

[43] WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

3.3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iii)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 10 bis 30 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen der nationalen Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (IPCC (2003); Kap. 2.7.1.6).

3.3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iii)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Tabelle 141: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Quelle	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m³]	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4)[44] Einheit in [Gg/10⁶m³]	Einheit in [g/m³]
CO_2	225	$7,9*10^{-06}+ 3,6*10^{-3}+ 6,3*10^{-2}$	66,608
CH_4	0,05	$9,7*10^{-05} + 2,4*10^{-6}$	0,099
NMVOC	0,004	$6,8*10^{-05} + 1,9*10^{-6}$	0,068

Ein Vergleich mit den IPCC Default Faktoren [Tabelle 4.2.4 in den IPCC GL 2006] zeigt den nationalen Emissionsfaktoren für Methan in der Bandbreite der Defaultfaktoren. Der für Kohlendioxid übersteigt den Wert aber massiv, jedoch liegt Deutschland im Vergleich mit Österreich (s. folgende Tabelle) in derselben Größenordnung. Die Abweichungen zu den IPCC Defaultwerten lassen sich damit erklären, dass in den deutschen Emissionsfaktor die Schwefelproduktion mit enthalten ist. Nach Angaben des BVEG kann ein Sechstel der Emissionen der Schwefelproduktion zugeschrieben werden.

Ein Abgleich mit anderen Ländern konnte nicht durchgeführt werden, da in den CRF Tabellen nicht ersichtlich ist, welcher Anteil aufbereiteten Erdgases dem Sauergas zuzuordnen ist.

Tabelle 142: Kohlendioxid- Emissionsfaktorvergleich (2017)

Quelle	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m³]
Österreich	230
Deutschland	238

3.3.2.2.4 Gas, Weiterleitung (1.B.2.b.iv)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4 (Weiterleitung)	Tier 3	AS	CS
CH_4 (Speicherung)	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iv)

Die Emissionen der Quellgruppe setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Gasversorger zusammen. In Deutschland wird Gas von Betrieben/Anlagen der Förderung und der Verarbeitung zu Unternehmen der Gasversorgung und Gasverarbeitung weitergeleitet. Ferner erfolgen Import und Weiterleitung von Erdgas mittels Fernleitungen.

Zur Weiterleitung von Gas werden fast ausschließlich Stahlleitungen verwendet (Zöllner, 2014).

[44] Addition von diffusen und Fackelemissionen sowie Rohgasventilierung (Raw-CO_2-venting)

Aktivitätsraten

Tabelle 143: Länge der Hochdruckfernleitungen, in km

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
22.696	29.866	32.214	34.086	35.503	34.270	35.476	33.809

(Kiesel, 2020) eigene Abfrage bei den FNB

Ein Teil des Erdgases wird zur zeitlichen Unterbrechung (zur Wahrung der Versorgungssicherheit) der Weiterleitung in unterirdischen Speichern zwischengelagert.

Tabelle 144: Unterirdische Gasspeichervolumina in Mrd. m³

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Kavernenspeicher	2,8	4,8	6,1	6,8	9,2	14,3	15,3	15,1
Porenspeicher	5,2	8,5	12,5	12,4	12,1	9,8	8,6	8,6

(BVEG, 2021a)

Ein wesentlicher Emissionspfad sind Verdichter, die zur Druckaufrechterhaltung an den Leitungen. ca. aller 100 km (GASUNIE, 2014) eingesetzt werden. Derzeit haben diese Verdichter eine Gesamtleistung von ca. 2.667 MW (FNB, 2020). Hinzu kommen Absperreinrichtungen (Schieber), die sich aus Sicherheitsgründen im Abstand von ca. 30 km entlang der Hochdruckleitungen befinden sowie Gas-Druckregel(mess)anlagen (GDR(M)A).

Zur Inspektion und Reinigung der Leitungen kommen sogenannt Molche zum Einsatz. Der Molch bewegt sich im Leitungssystem mithilfe des Gasstroms von einer Sende- zu einer Empfangsstation (Molchschleusen), die entweder fest installiert oder mobil sein kann. Sowohl beim Ein- als auch beim Ausschleusen werden geringe Menge Methan emittiert. Außerdem können die Molchschleusen Leckagen aufweisen, welche allerdings regelmäßig kontrolliert und ggf. repariert werden. Nicht alle Leitungen sind molchbar, da Durchmesserreduzierungen, Absperrarmaturen, Bögen, o.ä. existieren können, die die Durchfahrt verhindern. Eine Abschätzung dieser Emissionen wurde durch ein Gutachten des DBI durchgeführt(Grosse, 2021).

Emissionsfaktoren

In Deutschland wird gefördertes Erdgas von den Förderfeldern und den dortigen Förderstationen (auf Land und vor der Küste), sowie importiertes Erdgas hauptsächlich über Rohrleitungen weitergeleitet.

Tabelle 145: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Hochdruckfernleitung	159 kg/km	T3	Expertenschätzung
Verdichter	30.229 m³/MW	T2	Expertenschätzung
Schieberknoten	46.845 m³/No.	T2	Expertenschätzung
Gas-Druckregel(mess)anlagen	764 m³/No	T2	Expertenschätzung
Kavernenspeicher	0,05 kg/Tsd.m³ (Vn)[45]	T2	Expertenschätzung
Porenspeicher	0,05 kg/Tsd.m³ (Vn)[45]	T2	Expertenschätzung

[45] Verfügbares Arbeitsgasvolumen normiert auf 273 K und 1013 hPa.

Tabelle 146: Verwendete Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Hochdruckfernleitung	1,3 kg/km	T3	Expertenschätzung
Verdichter	183 m³/MW	T2	Expertenschätzung
Schieberknoten	271 m³/No.	T2	Expertenschätzung
Gas-Druckregel(mess)anlagen	4,5 m³/No	T2	Expertenschätzung
Kavernenspeicher	0,6 g/Tsd.m³ (Vn) [45]	T2	Expertenschätzung
Porenspeicher	0,6 g/Tsd.m³ (Vn) [45]	T2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 147: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	45 kt	78 kt	72 kt	62%	-8%	Die Emissionen steigen aufgrund des Zubaus neuer Fernhochdruckleitungen und damit verbundenen Verdichtern sowie Mess- und Sicherheitseinrichtungen.
Kohlendioxid	216 t	335 t	300 t	39%	-10%	
NMVOC	1134 t	1967 t	1815 t	60%	-8%	

3.3.2.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iv)

Die Berechnung der Emissionen aus Erdgastransport erfolgte nach dem Tier-3 Ansatz.

Die Berechnung der Emissionen aus Erdgasspeicherung, aus Verdichterstationen, Gas-Druckregel(mess)anlagen und Schieberknoten erfolgte nach dem Tier-2 Ansatz.

Der Emissionsfaktor der unterirdischen Erdgasspeicherung wurde mittels Betreiberbefragung und Auswertung von Störungsstatistiken ermittelt Bender and Langer (2012) und ist gültig für Poren- und Kavernenspeicher. Er wird als sehr konservativ angesehen. Der Emissionsfaktor für die Verdichteranlagen sowie die Schieberknoten stammt aus dem Forschungsvorhaben Zöllner (2014).

Oberirdische Gasspeicher werden unter 1.B.2.b.v berichtet.

3.3.2.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iv)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 10 bis 30 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen der nationalen Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (IPCC (2003); Kapitel 2.7.1.6). Für die Untergrundspeicher wird eine Unsicherheit von -50% angenommen, da die verwendeten Faktoren mit einem sehr konservativen Ansatz ermittelt wurden.

3.3.2.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iv)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung wurde durch die Nationale Koordinierungsstelle gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Die zusätzliche Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wurde durch einen externen Auftragnehmer (Grosse, 2021) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit den IPCC Default Faktoren (Tabelle 4.2.8) zeigt, dass die Emissionsfaktoren für Methan innerhalb der angegebenen Bandbreite liegen. Für Kohlendioxid liegen keine Vergleichswerte vor.

Tabelle 148: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Einrichtung	CS-Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 – Tabelle 4.2.8
Verdichter	30.229 m³/MW	6.000 – 100.000 m³/MW
Absperreinrichtungen (Schieberknoten) [46]	46.845 m³/No.	1.000 – 50.000 m³/No

Die Emissionsfaktoren der Verdichter und Absperreinrichtungen sind im Bereich der IPCC Faktoren. Der Emissionsfaktor für Verdichter wurde in den Vorhaben Zöllner (2014) und Müller-Syring and Schütz (2014) ermittelt, bezieht aber mangels Datenlage keine Emissionsminderungsmaßnahmen (bspw. die Verwertung von Sperrgas im Heizsystem) ein und ist daher als konservativ einzuschätzen.. Der Faktor für die Schieberknoten entstammt einer Studie für das russische Transportnetz (Lechtenböhmer et al., 2005) und wurde mangels nationaler Emissionsfaktoren verwendet. Dies ist als sehr konservativer Ansatz zu betrachten.

3.3.2.2.5 Gas, Verteilung (1.B.2.b.v)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 3	AS	CS

3.3.2.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.v)

Die durch die Gasverteilung verursachten Emissionen sind trotz deutlich gestiegener Gasdurchleitungen und eines gegenüber 1990 deutlich erweiterten Verteilungsnetzes leicht zurückgegangen. Ursache hierfür ist zum einen die Erneuerung des Gasverteilungsnetzes insbesondere im Osten Deutschlands. So wurde insbesondere der Anteil der Graugussrohre im Niederdrucknetz reduziert und durch emissionsärmere Kunststoffrohrleitungen ersetzt. Eine weitere Ursache dieser Reduzierung ist die Minderung der diffusen Verteilungsverluste in der Folge technischer Verbesserungen (technisch dichte Armaturen wie Flansche, Ventile, Pumpen, Kompressoren) als Resultat der Implementierung von Anforderungen zur Emissionskontrolle aus Regularien (TA Luft (1986) und TA Luft (2002)).

Aktivitätsraten

Tabelle 149: Gasverteilungsnetz, Angaben in km

Parameter	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Gesamtlänge Leitungsnetz[47]	282.612	366.987	362.388	402.391	471.886	474.570	489.100	503.543

(Kiesel, 2019); eigene Erhebung

Tabelle 150: Anzahl Erdgasfahrzeuge in Deutschland

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Anzahl	0	0	7.500	28.500	90.000	97.804	96.531	98.460

Eigene Erhebnung nach Daten des Kraftfahrzeugbundesamtes

[46] Der Emissionsfaktor errechnet sich aus den Komponenten Ausbläser und der Armatur (Zöllner, 2014) es wird angenommen, dass sich der angegebene IPCC Default-Faktor aufgrund der sehr hohen Werte auf die Schieber und nicht auf die Messstationen bezieht

[47] Die angegebenen Daten beinhalten auch die Hausanschlussleitungen

Tabelle 151: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Niederdruck aus Stahl und dukt. Guss	372 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Kunststoff	51 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Grauguss	445 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Stahl und dukt. Guss	207 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Kunststoff	28 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Stahl und dukt. Guss	62 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Kunststoff	0,3 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Obertagespeicher	5 kg/Tsd.m³ (Vn)[48]	Tier 2	Expertenschätzung
Gasdruckregel(mess)anlagen	256 kg/No	Tier 2	Expertenschätzung
Erdgasfahrzeuge	0,33 kg/Fahrzeug	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 152: Verwendete Kohlendioxid- Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Niederdruck aus Stahl und dukt. Guss	3,1 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Kunststoff	0,4 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Grauguss	3,7 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Stahl und dukt. Guss	1,7 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Kunststoff	0,2 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Stahl und dukt. Guss	0,5 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Kunststoff	2,5 g/km	Tier 3	Expertenschätzung
Obertagespeicher	34 g/Tsd.m³ (Vn)[48]	Tier 2	Expertenschätzung
Gasdruckregel(mess)anlagen	1,7 kg/No	Tier 2	Expertenschätzung
Erdgasfahrzeuge	2,3 g/Fahrzeug	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 153: Emissionen und Trend der Kategorie 1.B.2.b.v

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Gas
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	234 kt	87 kt	89 kt	-63%	2%	Die Emissionen sinken aufgrund der emissionsärmeren Materialien im Leitungsnetz – insbesondere durch den Austausch der Graugussrohre
NMVOC	5,5 kt	2,2 kt	2,2 kt	22%	0%	
Kohlendioxid	1,8 kt	0,6 kt	0,6 kt	-89%	0%	

3.3.2.2.5.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v)

Rohrleitungsnetz

Die Berechnung erfolgt mittels Tier-3-Ansatzes auf der Grundlage der verfügbaren BDEW-Netzstatistiken (138. Gasstatistik 2016des BDEW } und eigenen Erhebungen. In den frühen 1990er Jahren wurden auch die Emissionen der Verteilung von Stadtgas in die Berechnungen einbezogen. Das Stadtgasverteilungsnetz hatte 1990 einen Anteil von 16 % am gesamten Gasnetz, davon 15 % im Graugussnetz- und 85 % im Stahl- und Duktilgussbereich.

Die Emissionsfaktoren des Verteilungsnetzes wurden 2012 (Gottwald et al., 2012) und 2014 (Müller-Syring & Schütz, 2014) verifiziert.

Der verwendete Emissionsfaktor für Methan von 256 kg/Station für die Gas-Druckregel(mess)anlagen im Verteilungsnetz wurden von Experten des UBA auf Basis der Daten der Studie Müller-Syring and Schütz (2014) ermittelt.

Speicher

Zur Einlagerung von mittleren Erdgasmengen zum Ausgleich kurzzeitiger Verbrauchsschwankungen eignen sich künstliche oberirdische Speicher. In Deutschland stehen

[48] Verfügbares Arbeitsgasvolumen normiert auf 273 K und 1013 hPa.

hierzu Kugel- und Röhrenspeicher sowie weitere Niederdruckbehälter zur Verfügung. Aufgrund der Ergebnisse eines Forschungsvorhabens Bender and Langer (2012) konnten landesspezifische Emissionsfaktoren ermittelt werden. Die Berechnung der Emissionen erfolgt mittels Tier-2-Ansatz.

Erdgasfahrzeuge und Tankstellen

Weiterhin gibt es in Deutschland einen steigenden Trend zur Nutzung von erdgasbetriebenen Fahrzeugen. Diese werden an CNG-Tankstellen, welche an das öffentliche Netz angeschlossen sind, mittels Kompressoren aus Hochdruckzwischenspeichern betankt. Es gibt derzeit ca. 900 CNG-Tankstellen landesweit (Bender & Langer, 2012). Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen bei der Betankung und auch bei den Tanks selbst, sind daher die Emissionen mit ca. 30 t pro Jahr sehr gering und werden im Wesentlichen bei der Druckprüfung und bei Entleerung von Tanks verursacht. Die Berechnung der Emissionen erfolgt mittels Tier-2-Ansatz.

Kälteverflüssigtes Erdgas (LNG)

Erdgas lässt sich bei -161°C verflüssigen und ist somit transportgeeignet. Dieser Prozess ist allerdings sehr energieintensiv und wird nur zur Überbrückung großer Distanzen angewendet. In Deutschland existiert derzeit kein LNG-Umschlagsterminal (Bender & Langer, 2012). Importe aus anderen Ländern erfolgen im Wesentlichen in gasförmiger Form über die Fernleitungen und werden unter 1.B.2.b.iv berücksichtigt.

In Deutschland existieren derzeit eine Erdgasverflüssigungsanlage und zwei Satellitenspeicheranlagen. Dortige Speicherungen und Umschlagvorgänge unterliegen höchsten sicherheitstechnischen Anforderungen, so dass Emissionen ausgeschlossen sind. Lediglich bei Wartungen können Kleinstmengen an Gas entweichen. Die Mengen bewegen sich im unteren dreistelligen Kilogrammbereich (Bender & Langer, 2012).

3.3.2.2.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 20-30 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (IPCC (2006b), Tabelle 4.2.4).

3.3.2.2.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung wurde durch die Nationale Koordinierungsstelle gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Die zusätzliche Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wurde durch einen externen Auftragnehmer (Grosse, 2021) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit anderen Ländern konnte aufgrund von nicht-ineinander umrechenbarer Einheiten nicht durchgeführt werden.

Tabelle 154: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Methode	EF	AR	EM
CS (nur Verteilnetz)	97 kg/km[49]	503.543,00 km	49 kt
IPCC 2006	1,1 * 10^{-3} Gg/Mio.m³	87 Mrd. m³[50]	96 kt
IPCC Refinement 2019	0,62 t/Mio. m³	87 Mrd. m³[51]	54 kt

Die Emissionen liegen bei allen drei Methoden in ähnlicher Größenordnung.

[49] Gewichteter EF
[50] Wert aus (BVEG, 2018)
[51] Wert aus (BVEG, 2018)

3.3.2.2.6 Gas, Sonstige Leckagen (1.B.2.b.vi)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.vi)

Die Kategorie beschreibt die Emissionen aus der Leckage im industriellen Bereich sowie bei Haushalten und Kleinverbrauchern. Die Aktivitätsraten basieren auf den Ergebnissen der BDEW Gasstatistik und eigenen Erhebungen. Da die BDEW Gasstatistik zum Teil drei Jahre zeitverzögert veröffentlicht wird, werden zwischenzeitlich die Werte von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen genommen.

Aktivitätsraten

Tabelle 155: Verwendete Aktivitätsraten für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Anzahl der Gaszähler in Haushalten und Kleinverbrauchern [Mio.]	10,3	12,7	12,8	13,3	12,9	13,0	13,1	13,1
Energieverbrauch der Industrie [TWh]	323	361	370	399	335	377	420	408

(Kiesel, 2019), (AGEB, 2021a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 156: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“

Betriebsstätte	Gas	Wert	Methode	Quelle
Gaszähler und Armaturen in Haushalten und Kleinverbrauchern	CH_4	2 m³/No[52]	Tier 2	Expertenschätzung
Armaturen in Industrieanlagen	CH_4	0,4 m³/Tsd.m³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 157: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.vi

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	29,1 kt	29,7 kt	29,3 kt	0%	-1%	Die Entwicklung der Emissionen wird im Wesentlichen durch den Anstieg des Verbrauchs in der Industrie bestimmt.
NMVOC	0,7 kt	0,7 kt	0,7 kt	0%	0%	
Kohlen-dioxid	0,2 kt	0,2 kt	0,2 kt	0%	0%	

3.3.2.2.6.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v)

Die Emissionsfaktoren sind landesspezifisch und wurden mittels des Forschungsvorhabens "Methanemissionen durch den Einsatz von Gas in Deutschland von 1990 bis 1997 mit einem Ausblick auf 2010"; Frauenhofer ISI, 2000 ermittelt. Laut DVGW Arbeitsblatt G 600 (Technische Regel für Gasinstallationen, DVGW (2018)) liegt uneingeschränkte Gebrauchsfähigkeit bei einem Leckagevolumen von 0-1 l/h vor. Wird bei der Dichtheitsprüfung ein höherer Leckagewert festgestellt, muss die Installation zeitnah instand gesetzt werden. Nationale Experten halten demnach den Wert von 2 m^3/Jahr für anwendbar.

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

[52] Durchschnittlicher Faktor bezogen auf Erdgasverlust pro Anzahl an Gaszähler in Haushalten

3.3.2.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 20 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (Penman et al. (2000), Kapitel 2.7.1.6).

3.3.2.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung wurde durch die Nationale Koordinierungsstelle gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Die zusätzliche Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wurde durch einen externen Auftragnehmer (Grosse, 2021) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit anderen Ländern wurde durch Betzenbichler et al. (2016a) durchgeführt. Hierbei zeigten sich erhebliche Differenzen zu den Nachbarländern. Zwar weisen mehrere Länder Emissionen in dieser Kategorie auf, jedoch liegen diese im Schnitt zwei Größenordnungen unter den deutschen Werten. Die IPCC Guidelines 2006 geben zwar keine Methodenbeschreibung für diese Kategorie vor, jedoch in Tabelle 4.2.8 eine Bandbreite der zu erwartenden Emissionen vor.

Tabelle 158: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Einrichtung	CS-Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 – Tabelle 4.2.8
Anwenderverluste	2 m³/No.[53]	2 bis 20 m³/No.

3.3.2.3 Abfackelung und Entlüftung (1.B.2.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		CO2	543,5	0,0%	321,3	0,0%	-40,9%
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		N2O	2,0	0,0%	0,7	0,0%	-66,2%
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		CH4	1,6	0,0%	0,5	0,0%	-67,0%

Die Kategorien in der übergeordneten Gruppe der diffusen Emissionen aus 1.B.2.c "Abfackelung und Entlüftung" umfasst die direkt ausgeblasenen und über eine Verbrennung in die Atmosphäre emittierten Treibhausgase und Luftschadstoffe. Die Emissionen aus Entlüftungsvorgängen werden in den Kategorien 1.B.2.a.iv für Öl sowie 1.B.2.b.iii und 1.B.2.b.iv für Gas berücksichtigt.

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	AS	CS
CH_4	Tier 2	AS	CS
N_2O	Tier 2	AS	CS
NMVOC	Tier 2	AS	CS

Die Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“ ist keine Hauptkategorie.

3.3.2.3.1.1 Beschreibung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Nach den allgemeinen Vorgaben aus der TA Luft (2002) sind Gase und Dämpfe sowie Wasserstoff und Schwefelwasserstoff, die aus Druckentlastungsarmaturen und Entleerungseinrichtungen austreten, in ein Gassammelsystem einzuleiten. Die erfassten Gase werden soweit wie möglich in Prozessfeuerungen verbrannt. Sofern dies nicht möglich ist, werden die Gase einer Fackel zugeführt. Die Fackeln müssen mindestens die Anforderungen an Fackeln zur Verbrennung von Gasen aus Betriebsstörungen und Sicherheitsventilen erfüllen. Die Fackel ist für eine Raffinerie und für andere Anlagen in den Kategorien 1.B.2 eine unbedingt notwendige

[53] Der Emissionsfaktor für die Emissionen in der Industrie konnte nicht mit in den Vergleich gezogen werden, da die Einheiten sich nicht umrechnen lassen.

Sicherheitseinrichtung. Bei der Verarbeitung von Rohöl können aus unterschiedlichen Gründen gelegentlich zu hohe Drücke in den Prozessanlagen entstehen. Damit in solchen Fällen der Druck nicht so hoch wird, dass Behälter und Rohrleitungen platzen, muss der Überdruck durch Sicherheitsventile abgebaut werden können. Sicherheitsventile lassen das Produkt in Leitungen ab, die zur Fackel führen. Dort können die Gase, die bei Überdruck ausströmen, kontrolliert verbrannt werden. Durch Einrichtungen zur Fackelgasrückgewinnung wird der größte Teil der anfallenden Gase verflüssigt und wieder in den Verarbeitungsprozess rückgeführt oder in der Raffinerie für Feuerungszwecke genutzt. Kohlenwasserstoffe werden dabei zu mehr als 99 % zu CO_2 und H_2O umgesetzt. Am Fackelkopf ist daher selten mehr als eine kleine Zündflamme zu sehen.

Aktivitätsraten

Tabelle 159: Verarbeitete Rohölmenge, in Mio. t

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020
107	96	108	115	95	93	87,7	87,0	84,0

(MWV, 2021a)

Tabelle 160: abgefackeltes Erdgas, in Mio. m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020
36	33	36	19	12	10	11	16	14

(BVEG, 2021a)

Emissionsfaktoren

Abfackelungsaktivitäten finden auf Förderanlagen und in Raffinerien statt. In Raffinerien werden diese differenziert nach Regelbetrieb und nach Störungs- bzw. An-/Abfahrbetrieb.

Tabelle 161: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen bei der Erdgasförderung“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CO_2	1,777 kg/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NO	$2*10^{-8}$ kg/m³	Tier 1	IPCC Defaultwert

Tabelle 162: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Erdölförderanlagen“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CO_2	9,1 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
N_2O	0,55 g/t	Tier 1	IPCC Defaultwert

Emissionen von Methan und NMVOC sind bereits bei der Förderung enthalten. Laut BVEG sind die Emissionen von Lachgas verschwindend gering. Zu diesem Ergebnis kommt auch ein Gutachten (Theloke, 2013). Um konservativ zu bleiben, wurde zur Berechnung der IPCC Defaultwert angenommen.

Tabelle 163: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Normalbetrieb“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CH_4	0,225 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO_2	2,60 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
N_2O	0,03 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO	0,76 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	4,14 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
SO_2	3,28 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NO_X (als NO_2)	0,49 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 164: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Störung“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CH_4	0,095 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO_2	1,47 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
N_2O	0,3 mg/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO	0,71 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	0,73 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
SO_2	7,48 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NO_X (als NO_2)	4,18 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Die Emissionsfaktoren wurden aus den Emissionserklärungen 2004 und 2008 abgeleitet (Theloke et al., 2013) und 2019 für CH_4, N_2O, CO, NMVOC, NO_x und SO2 auf Basis von Bender and von Müller (2019) aktualisiert.

Emissionen und Trend

Tabelle 165: Emissionen der Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2019	2020	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	66 t	24 t	23 t	- 64 %	- 1 %	Die Emissionen durch die Fackelanlagen sind aufgrund verbesserter Gasrückführtechniken kontinuierlich zurückgegangen. Der Erfassung von Luftemissionen der E&P-Industrie erfolgt nach einem industrieweit abgestimmten Verfahren[54]. Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade.
Kohlendioxid	544 kt	345 kt	321 kt	-41 %	-7 %	
NMVOC	522 t	359 t	334 t	-36 %	- 7 %	
Lachgas	6,5 t	2,5 t	2,3 t	- 65 %	- %	

3.3.2.3.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Emissionen bei der Entlüftung werden in der Kategorie 1.B.2.b.iii berücksichtigt. Die SO_2-Emissionen werden ermittelt aus der Aktivitätsrate des abgefackelten Erdgases (Tabelle 160) und einem Emissionsfaktor von 0,140 kg/ 1000 m^3, welcher einen durchschnittlichen H_2S-Gehalt von 5 Vol. % berücksichtigt.

Die Emissionsfaktoren wurden aus den Emissionsberichten, der Rohöldestillationskapazität und der Gesamtauslastung der deutschen Raffinerien gebildet. Als Basis dient das Auswertungsgutachten von Theloke et al. (2013).

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

[54] WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

3.3.2.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Für die Emissionsfaktoren der Abfackelungsprozesse im Normalbetrieb werden quantitative Unsicherheiten von +/-10 % (95 % Konfidenzintervall, Normalverteilung) angenommen. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden mit +/-5 % (95 % Konfidenzintervall, Normalverteilung) angenommen.

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren störungsbedingter Abfackelungsprozesse (Störungs-, An- und Abfahrbetrieb) sind weitaus größer, da die Emissionsmenge jedes Jahr sehr unterschiedlich sein kann. Sie werden mit -90 %/ +300 % (95% Konfidenzintervall, Lognormal-Verteilung) abgeschätzt. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden mit +/-10 % (95 % Konfidenzintervall, Normalverteilung) angenommen (Theloke et al., 2013).

3.3.2.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit den IPCC Guidelines zeigt einen erheblichen Unterschied der einzelnen Faktoren. Auf dem EU-Workshop in Dessau (siehe Harthan et al. (2017)) waren sich die Experten einig, dass die Defaultwerte deutlich über den aktuell in Europa vorhandenen Emissionsfaktoren liegen.

Tabelle 166: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas und Einrichtung	Verwendeter CS Emissionsfaktor[55] Einheit in [g/m³]	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4)	
		Einheit in [Gg/1000m³]	Einheit in [g/m³]
CO_2 in Raffiniefackeln	3.503	$3,4*10^{-02}$	34.000
CH_4 in Raffiniefackeln	0,27	$2,1*10^{-05}$	21
NMVOC in Raffiniefackeln	4,86	$1,7*10^{-05}$	17
CO_2 in Erdölförderanlagen	7759	$4,1*10^{-02}$	41.000
CO_2 in Erdgasförderanlagen	1532	$1,2*10^{-03}$	1.200

3.3.2.4 Geothermie (1.B.2.d)

3.3.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.d)

Die Kategorie 1.B.2.d „Geothermie“ ist keine Hauptkategorie.

Geothermie ist eine regenerative Energieform. Geothermiesysteme, die die Erdwärme bis zu einer Tiefe von 400 Metern nutzen, zählen zur oberflächennahen Geothermie. Systeme der oberflächennahen Geothermie stellen über Wärmepumpen Wärme und Kälte bereit und dienen zur Brauchwassererwärmung. Geothermiesysteme, die die Erdwärme in Tiefen von größer als 400 Metern nutzen, zählen zur tiefen Geothermie. Geothermische Heizwerke versorgen Energieverbraucher über Fernwärme-/kältenetze mit Wärme und Kälte, indem der Wärmeinhalt des Thermalwasserstroms direkt genutzt wird. Geothermische Kraftwerke wandeln die Wärme des Thermalwasserstroms technisch in Strom und erzeugen i.d.R. in einem gekoppelten Prozess Strom und Wärme.

Bis Ende 2020 waren 42 Tiefengeothermieanlagen in Betrieb. Diese haben zusammen 47 MW elektrische und 350 MW thermische Leistung.

[55] Für Raffinerien ermittelt aus Mittelwert zwischen Normal- und Störungsbetrieb

Beim Betrieb der Geothermiekraftwerke und Geothermieheizwerke in Deutschland treten keine Emissionen von klimawirksamen Gasen auf. Der Thermalwasserkreislauf ist geschlossen und wird untertägig und obertägig unter Luftabschluss betrieben, so dass während des Betriebs keine Emissionen auftreten. Selbst eine Freisetzung der im Wärmeträgerfluid gelösten Gase - vor allem H_2, CH_4, CO_2 und H_2S – würde keine berichtenswerte Konzentration erreichen (vgl. Kaltschmitt (2007): Kapitel A.2.3.5). Daher werden die Emissionen mit „NE“ berichtet. Der Eigenstrombedarf aller Geothermieanlagen, größtenteils Antriebsenergie für Pumpen, wurde im Berichtsjahr mit Strom aus dem Netz gedeckt und wird im Bericht unter den entsprechenden Quellgruppen inventarisiert.

3.3.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.d)

Das IPCC Reference Manual beschreibt keine Methodik für die Kategorie 1.B.2.d „Andere“ (IPCC et al. (1997): Band 3, S. 1.132f)

Emissionsfaktoren für Treibhausgase und Luftschadstoffe, die bei Bohrungen zur Erschließung der oberflächennahen und der tiefen Geothermie entweichen könnten, wurden in Deutschland nicht ermittelt. Bei Bohrungen muss, auch wenn nicht gezielt Kohlenwasserstoffe exploriert werden, stets mit einer Freisetzung von im Untergrund gebundenen Gasen gerechnet werden – darunter klimawirksame Gase (vgl. Kaltschmitt (2007): Kapitel A.2.1.5). Bei Bohrungen für die oberflächennahe Geothermie sind, aufgrund üblicherweise niedriger Gaskonzentrationen, wie bei Trinkwasserbrunnen nur sehr geringe Emissionen zu erwarten. Bei geothermischen Tiefbohrungen gelten zur Vermeidung von Gasaustritten dieselben Sicherheitsbestimmungen wie bei der Kohlenwasserstoffexploration, einschließlich der Pflicht zum Einsatz sogenannter Eruptionskreuze und „Blow-out-Preventer“ zur Vermeidung von Störfällen. Eine Schätzung von Theloke et al. (2013) geht davon aus, dass sich die diffusen Emissionen bei der tiefen Geothermiebohrung im Kilogrammbereich bewegen. Die Emissionen aus dieser Kategorie werden als NE berichtet, da ihr Beitrag zu den Gesamtemissionen unter 0.05 % des Gesamtinventars oder 500 kt CO_2-Äquivalente liegen (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1) und eine jährliche Bestandaufnahme nicht gewährleistet werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37). In Kapitel 5 wird einmalig der Emissionsbeitrag zum Gesamtinventar dargestellt. Die Zusammenstellung aller Quellen, für die der Eintrag „not estimated“ beibehalten wird, werden im Annex 5 (Kapitel 21) dargestellt.

3.3.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.d)

Erläuterungen zu Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz entfallen.

3.3.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und –Verifizierung (1.B.2.d)

Erläuterungen zu quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung entfallen.

3.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.2 alle)

Aufgrund der Vorläufigkeit einiger Statistiken sind Rückrechnung der letzten zwei Jahre entstanden. Darüber hinaus gab es nachfolgende Inventarverbesserungen, die marginale Rückrechnungen mitsich führten. Hinzu kommt, dass in der Berichterstattung 2022 erstmals Emissionen aus der Betankung von motorbetriebenen Booten mittls Kanistern Berücksichtigung finden. Ferner wurde die Kategorie „Lagerung von Mineralölprodukten“ gemäß IPCC Guidelines geteilt in Lagerung von Brennstoffen (1.B.2) und Lagerung von chemischen produkten (2.B.10).

Tabelle 167: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 – NMVOC-Emissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Submission 2021	183,5	124,6	84,9	54,2	44,3	40,6	39,9
Submission 2022	175,4	116,3	75,3	45,0	35,7	32,2	31,6
Differenz 1.B.2	8,038	8,394	9,644	9,183	8,653	8,337	8,30
Emissionen unter 2.B.10 allokiert	8,1	8,4	9,7	9,2	8,7	8,4	8,4
Differenz 1.B.2 unter Berücksichtigung der Neuallokation unter 2.B.10	-0,055	-0,056	-0,056	-0,056	-0,055	-0,056	-0,06

Tabelle 168: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Methanemissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Submission 2020	332	345	251	219	196	194	195
Submission 2021	330	343	249	216	194	191	193
Differenz	2,380	2,468	2,806	2,635	2,473	2,377	2,44

Tabelle 169: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Kohlendioxidemissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Submission 2021	2.008	2.127	2.213	2.212	1.898	1.672	1.343
Submission 2022	2.008	2.127	2.213	2.212	1.898	1.672	1342
Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15

3.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.B.2 alle)

Derzeit laufen in Deutschland mehrere Messkampagnnen zur Ermittlung von Emissionsfaktoren bei Erdgastransport- (FNB Methanmessprogramm 2020) und -verteilleitungen (DVGW, 2020); (Maazallahi, 2020). Diese Messungen orientieren sich an den Leitlinien der „Oil and Gas Methane Partnership (OGMP)“ unter dem Dach der Vereinten Nationen.

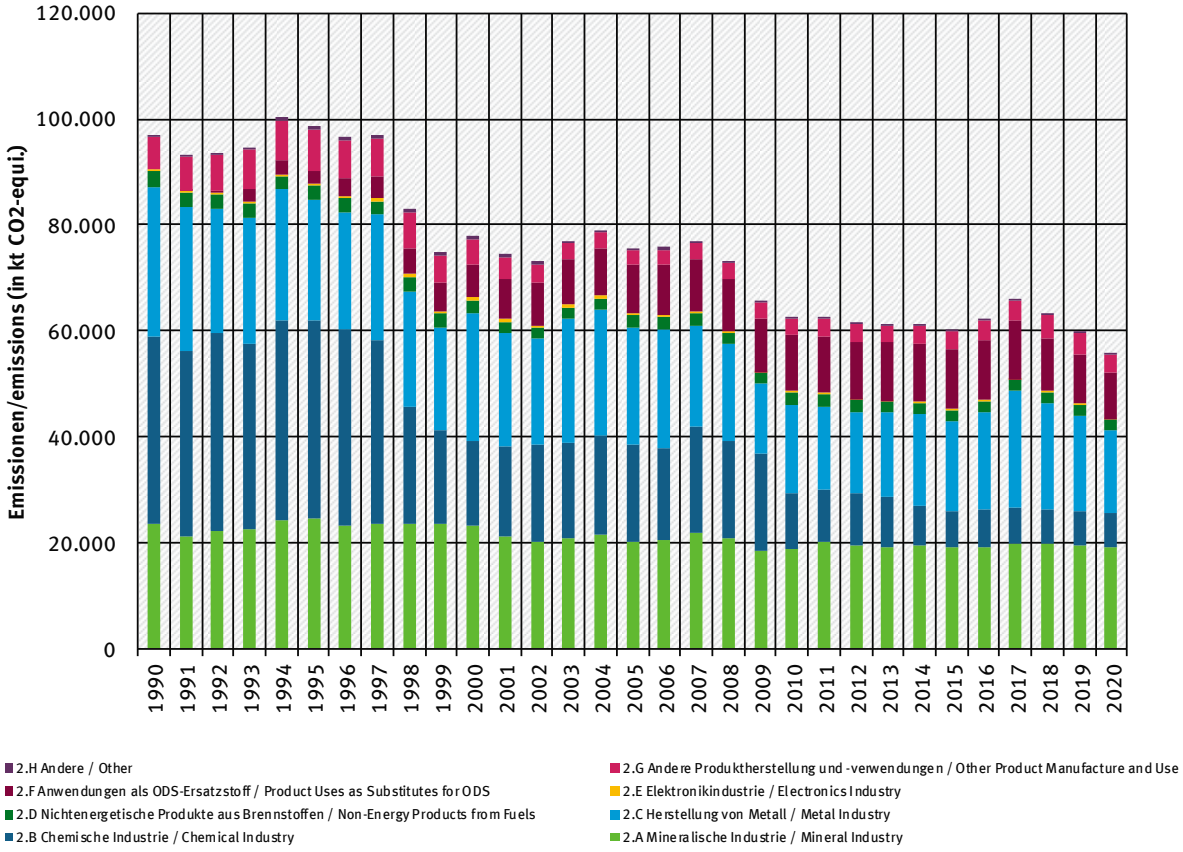
Für die FNB liegen bereits erste Daten vor, demnach die Emissionen im aktuallen Inventar deutlich überschätzt werden (FNB Gas, 2021). Insbesondere bei den Schieberknoten und den Verdichterstationen weichen die Daten des Inventars von den tatsächlichen um einen Faktor 3 ab. Es ist angedacht die Erkenntnisse aus den Messprogrammen nach Fertigstellung in das Inventar aufzunehmen.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4 Industrieprozesse (CRF Sektor 2)

4.1 Übersicht (CRF Sektor 2)

Abbildung 40: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 2



4.2 Mineralische Industrie (2.A)

Die CRF-Kategorie 2.A Mineralische Industrie ist unterteilt in die Unterpunkte 2.A.1 bis 2.A.4. Dazu gehören:

- die Zementklinkerproduktion (2.A.1, Kapitel 4.2.1),
- das Kalkbrennen (2.A.2, Kapitel 4.2.2),
- die Glasherstellung (2.A.3, Kapitel 4.2.3)
- die Keramikproduktion (2.A.4.a, Kapitel 4.2.4.1)
- die sonstige Sodaverwendung (2.A.4.b, Kapitel 4.2.4.2),
- die Herstellung von nicht-metallurgischen Magnesiumprodukten (2.A.4.c, Kapitel 4.2.4.3)
- die weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d, Kapitel 4.2.4.4).

4.2.1 Mineralische Industrie: Zement (2.A.1)

4.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	2 A 1, Cement Production		CO2	15.297,3	1,2%	13.357,5	1,9%	-12,7%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier2	AS	CS
NO_X, SO_2	Tier 1	AS	CS

Die Kategorie *Zement* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. Die weiteren Ausführungen beziehen sich nur auf die Zementklinkerproduktion, weil die Klinkermahlung als Staubquelle hier nicht relevant ist. Die Zementproduktion ist in Tabelle 170 nur als Bezugsgröße ohne Emissionsrelevanz aufgeführt.

Beim Klinkerbrennprozess werden klimarelevante Gase emittiert. Zum weit überwiegenden Teil ist dies CO_2. Die CO_2-Emissionen aus den Rohmaterialien sind direkt an die Produktionsmengen des Zementklinkers gekoppelt. Laut Deutscher Emissionshandelsstelle (DEhSt, 2021) betrug die Klinkerproduktion im Jahr 2020 24.709 kt. Die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen werden mit einem vom *Verein Deutscher Zementwerke* (VDZ) aus anlagenspezifischen Daten ermittelten, länderspezifischen Emissionsfaktor von 0,53 t CO_2/t Zementklinker unter Berücksichtigung des Anteils an ausgeschleustem Bypassstaub berechnet. Aus der Klinkerproduktion resultiert daher eine rohstoffbedingte CO_2-Emission von 13.357 kt CO_2 im Jahr 2020.

Tabelle 170: Produktion und rohstoffbedingte CO_2-Emissionen der deutschen Zementindustrie

Jahr	Klinkerproduktion + ausgeschleuster Bypassstaub[56] [kt/a]	Emissionsfaktor [t CO_2/t]	Rohstoffbedingte CO_2-Emissionen [kt/a]	Zementproduktion (kt/a)
1990	28.863	0,53	15.297	37.772
1991	25.927	0,53	13.741	34.341
1992	27.253	0,53	14.444	37.331
1993	27.417	0,53	14.531	36.649
1994	28.945	0,53	15.341	40.512
1995	29.363	0,53	15.562	35.862
1996	27.945	0,53	14.811	34.318
1997	28.821	0,53	15.275	34.148
1998	29.329	0,53	15545	35.601
1999	29.757	0,53	15.771	37.438
2000	28.779	0,53	15.253	35.414
2001	25.479	0,53	13.504	32.118
2002	24.194	0,53	12.823	31.009
2003	25.485	0,53	13.507	32.749
2004	26.544	0,53	14.068	31.854
2005	24.622	0,53	13.050	31.009
2006	25.170	0,53	13.340	33.630
2007	27.262	0,53	14.449	33.382
2008	25.620	0,53	13.579	33.581
2009	23.696	0,53	12.559	30.441

[56] Die Berechnung der Bypassstaubmenge erfolgt als Expertenschätzung bezogen auf die tatsächliche Klinkerproduktion unter folgenden Annahmen: 1 % für die Jahre 1990-2008, 2 % ab 2009.

Jahr	Klinkerproduktion + ausgeschleuster Bypassstaub[56] [kt/a]	Emissionsfaktor [t CO_2/t]	Rohstoffbedingte CO_2-Emissionen [kt/a]	Zementproduktion (kt/a)
2010	23.456	0,53	12.431	29.915
2011	25.270	0,53	13.393	33.540
2012	25.073	0,53	13.289	32.432
2013	23.591	0,53	12.503	31.308
2014	24.348	0,53	12.905	32.099
2015	23.822	0,53	12.626	31.160
2016	23.892	0,53	12.663	32.674
2017	25.298	0,53	13.408	33.991
2018	24.958	0,53	13.228	33.655
2019	25.069	0,53	13.287	34.186
2020	25.203	0,53	13.357	35.485

Quelle: eigene Berechnungen, hergeleitet aus BDZ (2005) bis 1994, VDZ (2016) ab 1995 und ab 2015 aus DEHSt (2016), DEHSt (2017), DEHSt (2018), DEHSt (2019), DEhSt (2020), (DEhSt, 2021)

4.2.1.2 Methodische Aspekte (2.A.1)

Aktivitätsdaten

Die Erhebung der Aktivitätsdaten beruht auf der Summierung einzelbetrieblicher Angaben, bis zum Jahr 1994 auf Basis von Daten des BDZ. Nach einer Optimierung der Datenerhebung innerhalb des Verbandes wurden die Aktivitätsdaten ab 1995 vom VDZ bzw. dessen Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf durch Umfragen bei den deutschen Zementwerken und aus Angaben des BDZ zusammengestellt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die im Rahmen des CO_2-Monitorings veröffentlichten Daten, ergänzt um die Werke, die nicht Mitglieder im BDZ sind (teilweise Schätzung des VDZ). Dies entspricht dem Tier 2-Ansatz der IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Band 3, Kap. 2.2.1.1).

Die Daten für die Jahre ab 2015 konnten aus verbandsinternen Gründen nicht vom VDZ zur Verfügung gestellt werden. Stattdessen beruht die Zementklinkerangabe auf aggregierten anlagenspezifischen Daten der DEHSt. Ein Vergleich für die Vorjahre 2005-2014 ergab eine konstante Abweichung zwischen Angaben der DEHSt zum Emissionshandel und der Zementklinkerproduktionsdaten des VDZ von ca. 1 %, so dass von einer hohen Übereinstimmung dieser Datensätze ausgegangen werden kann. Die Vollständigkeit ist somit bei der Verwendung einer der beiden Datensätze grundsätzlich gesichert.

Nach Angaben des VDZ lag der Anteil des Bypassstaubes bezogen auf die Klinkerproduktion in den Jahren 2009 bis 2016 zwischen 1 und 2 %. Die Angabe kann nicht jährlich in hinreichend qualitätsgesicherter Form vom VDZ zur Verfügung gestellt werden, auch zukünftig scheint das nicht erreichbar. Deshalb wird konservativ mit einem Anteil des Bypassstaubs von 2 % seit dem Jahr 2009 gerechnet, was in Übereinstimmung mit den Giudelines ist (IPCC, 2006b). Für die Jahre vor 2009 liegen keine detaillierten Informationen zum Anteil des Bypassstaubes vor. Hier wird konservativ davon ausgegangen, dass der Anteil in den Jahren 1990 bis 2008 bei konstant 1 % lag.

In Tabelle 170 sind die Aktivitätsdaten für Zementklinker inklusive ausgeschleustem Bypassstaub und Zement dargestellt.

Emissionsfaktoren

Der für die Emissionsberechnung verwendete Emissionsfaktor von 0,53 t CO_2 / t Zementklinker beruht auf massengewichteten einzelbetrieblichen Angaben, d.h. der Emissionsfaktor wurde vom VDZ durch Aggregierung anlagenspezifischer Daten zu den Anteilen von CaO und anderen

(in den Rohmaterialien enthaltenen karbonathaltigen) Metalloxiden (MgO) im Klinker bestimmt. Der Emissionsfaktor wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes und in den Folgejahren vom VDZ bestätigt. Das Verfahren entspricht der Tier 2-Methode der IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Band 3, Kap. 2.2.1.2).

Da in der deutschen Zementindustrie der aus dem Ofenabgas abgeschiedene Staub wieder in den Brennprozess zurückgeführt wird, kann die Karbonatfreisetzung aus den Klinkerrohstoffen direkt aus dem Metalloxidgehalt des Klinkers bestimmt werden, ohne relevante Verluste über den Abgaspfad berücksichtigen zu müssen. Zusätzlich wird für die Ermittlung der rohstoffbedingten CO_2-Emissionen der über den Bypasspfad ausgeschleuste Staub für die gesamte Zeitreihe berücksichtigt.

Der Emissionsfaktor von 0,53 t CO_2 / t Zementklinker wurde für die gesamte Zeitreihe in Ansatz gebracht. Unter der konservativen Annahme, dass der Bypassstaub vollständig entsäuert vorliegt, wird für diesen Stoffstrom der gleiche Emissionsfaktor verwendet.

Die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen in der Zementindustrie werden entsprechend der *IPCC Guidelines* ((IPCC, 2006b): Band 3, Gleichung 2.2 in Verbindung mit Gleichung 2.5) nach der folgenden Gleichung ermittelt:

CO_2-Emissionen = Emissionsfaktor ($EF_{Klinker}$) x Klinkerproduktion + Emissionsfaktor ($EF_{Klinker}$) x Bypassstaub (%) x Klinkerproduktion

Tabelle 170 enthält die unter Berücksichtigung der Bypassstaubausschleusung aus der Klinkerproduktion ermittelten rohstoffbedingten CO_2-Emissionen der deutschen Zementindustrie für die berichteten Jahre.

4.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.1)

Die Zeitreihenkonsistenz wird für die Aktivitätsdaten durch die langjährige Verbandsdatenerhebung und für die Jahre ab 2015 über die nachgewiesene Ersetzbarkeit durch Informationen aus dem Emissionshandel durch die hohe Übereinstimmung in den Vorjahren sowie für den Emissionsfaktor durch den einheitlichen Ansatz für alle Jahre gewährleistet.

Die Ermittlung der angegebenen Unsicherheiten erfolgte durch eine Expertenschätzung.

Die Angaben zur Klinkerproduktion müssen von den meisten Unternehmen auch im Rahmen des CO_2-Emissionshandels berichtet werden. In den EU-Monitoring-Leitlinien für den Emissionshandel ist eine maximale Genauigkeit von 2,5 % angegeben. Die Unsicherheiten für die verwendeten Aktivitätsdaten wurden daher mit -2,5 % bzw. +2,5 % abgeschätzt.

Die Unsicherheit des verwendeten Emissionsfaktors wurde auf +/– 2 % geschätzt. Dies wurde durch die Erhebungen im Rahmen eines Forschungsprojektes bestätigt (Ruppert et al., 2009).

4.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung wurden alle verwendeten Daten des BDZ, des VDZ, des Emissionshandels sowie Vergleichsangaben aus der Literatur auf Plausibilität geprüft. Im Zuge der Inventarüberprüfung (ICR 2016) konnten anhand von Materialien des VDZ QSE-konforme Prozeduren veranschaulicht werden, die vom Review-Team als Beleg anerkannt wurden. Der ermittelte Emissionsfaktor für die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen wurde mit denen anderer Länder verglichen. Die geringe Abweichung (ca 1 %) vom IPCC-Tier-1-Default-Faktor in Höhe

von 0,52 t CO_2 / t Klinker ((IPCC, 2006b): Band 3, Gleichung 2.4) ergibt sich aus dem zum Teil höheren Kalkgehalt des deutschen Klinkers.

Der verwendete Emissionsfaktor weicht nur geringfügig von den durchschnittlich im Vollzug des ETS in Deutschland verwendeten Emissionsfaktoren ab, die dort einer behördlichen Kontrolle und betrieblichen Nachweispflichten unterliegen. Es liegen bisher keine Berechnungen für den Emissionsfaktor vor dem Jahre 2000 vor, der einheitliche Ansatz für alle Jahre stellt eine Expertenschätzung dar.

4.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.1)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.2.2 Mineralische Industrie: Kalk (2.A.2)

4.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	2 A 2, Lime Production		CO2	5.986,6	0,5%	4.180,9	0,6%	-30,2%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	AS	D
NO_X, SO_2	Tier 1	AS	CS

Die Kategorie Kalk ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Aussagen zur Kategorie 2.A.2 beziehen sich ausschließlich auf die in deutschen Kalkwerken produzierten Branntkalk- und Dolomitkalkmengen. Über die in diesem Kapitel berücksichtigten Anlagen zum Brennen von Kalk hinaus, wurden zusätzlich Kalköfen im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie und der Zuckerindustrie identifiziert. Diese sind nicht in diesem Kapitel, sondern in den jeweiligen Kategorien 2.C.1 (Kapitel 4.4.1) und 2.H.2 (Kapitel 4.9.2) berücksichtigt. Informationen zu anderen kalksteinverwendenden Branchen sind Gegenstand des Kapitels 4.2.4.4 (CRF 2.A.4d).

Die Produktion von Brannt- und Dolomitkalk lag im Jahr 2020 etwa 8 % (Branntkalk) bzw. 10 % (Dolomitkalk) unter dem Niveau des Vorjahres.

Tabelle 171: Produktion und CO_2-Emissionen der deutschen Kalkindustrie

Jahr	Kalk		Dolomitkalk	
	Produktion [Mio. t]	CO_2-Emissionen [Mio. t]	Produktion [Mio. t]	CO_2-Emissionen [Mio. t]
1990	7,324	5,463	0,603	0,523
1991	6,475	4,830	0,605	0,525
1992	6,563	4,896	0,587	0,509
1993	6,853	5,112	0,527	0,457
1994	7,512	5,604	0,516	0,447

Jahr	Kalk		Dolomitkalk	
	Produktion [Mio. t]	CO_2-Emissionen [Mio. t]	Produktion [Mio. t]	CO_2-Emissionen [Mio. t]
1995	7,611	5,678	0,556	0,482
1996	7,019	5,236	0,556	0,482
1997	7,115	5,308	0,542	0,470
1998	6,799	5,072	0,570	0,494
1999	6,815	5,084	0,491	0,425
2000	6,994	5,217	0,536	0,465
2001	6,665	4,972	0,523	0,453
2002	6,591	4,917	0,527	0,457
2003	6,732	5,022	0,446	0,386
2004	6,693	4,993	0,469	0,407
2005	6,535	4,875	0,474	0,411
2006	6,646	4,958	0,472	0,409
2007	6,874	5,128	0,469	0,406
2008	6,868	5,124	0,464	0,402
2009	5,501	4,104	0,342	0,296
2010	6,124	4,569	0,342	0,296
2011	6,331	4,723	0,350	0,304
2012	6,036	4,503	0,242	0,210
2013	6,190	4,618	0,218	0,189
2014	6,397	4,772	0,228	0,197
2015	6,247	4,660	0,248	0,215
2016	6,212	4,634	0,232	0,201
2017	6,120	4,566	0,241	0,209
2018	6,200	4,625	0,238	0,206
2019	5.833	4,352	0,228	0,198
2020	5.367	4,004	0,204	0,177

Quelle: Produktion: Basisdaten aus (BVKalk, 2021); ergänzt durch UBA

Da die CO_2-Emissionen und die Kalk- bzw. die Dolomitkalkproduktion bei konstantem Emissionsfaktor linear voneinander abhängen, gelten die vorhergehenden Aussagen zu den Aktivitätsraten für die CO_2-Emissionen entsprechend.

4.2.2.2 Methodische Aspekte (2.A.2)

Beim Brennen von Kalkstein oder Dolomit wird CO_2 freigesetzt, das mit dem Abgas an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Höhe der Emissionen ergibt sich aus dem Produkt der Produktmenge (Kalk oder Dolomitkalk) und dem entsprechenden Emissionsfaktor. Die Verwendung von unten erläuterten Emissionsfaktoren und länderspezifisch bestimmten Kalkprodukten entspricht einem Tier 2-Ansatz der *2006 IPCC Guidelines* (IPCC (2006b): Band 3, Kapitel 2.3.1.1).

Emissionsfaktoren

Für die Berechnung der CO_2-Emissionen werden folgende Faktoren verwendet:

EF_{Kalk} 0,746 t CO_2/t Kalk (stöchiometrisch 0,785 * Oxidanteil 0,95)
$EF_{Dolomitkalk}$ 0,867 t CO_2/t Dolomitkalk (stöchiometrisch 0,913 * Oxidanteil 0,95)

Die verwendeten Emissionsfaktoren basieren auf den stöchiometrischen Faktoren und gehen zusätzlich davon aus, dass der Branntkalk zu 95 % aus CaO bzw. der Dolomitkalk zu 95 % aus CaO • MgO besteht und somit 5 % der Gesamtmasse auf nicht CO_2-relevante Verunreinigungen entfallen. Diese Herangehensweise ist in Übereinstimmung mit den *2006 IPCC Guidelines* (IPCC (2006b): Band 3, Kapitel 2.3.1.2).

Aktivitätsdaten

Die Produktionszahlen werden über die gesamte Zeitreihe vom BV Kalk e.V., dem deutschen Industrieverband der Kalkindustrie, anlagenbezogen erhoben und für die Berichterstattung zur Verfügung gestellt. Die Produktionsmenge von Werken, die nicht über die Verbandsstatistik des BV Kalk erfasst werden, wird auf der Basis vorliegender Informationen (z.B. Betreiberangaben, veröffentlichte Daten aus dem Emissionshandel) abgeschätzt und zur Angabe des BV Kalk addiert. Somit wird sichergestellt, dass die deutsche Kalkproduktion vollständig erfasst wird. Seit dem Methodenwechsel entsprechend 2006 IPCC Guidelines wird zusätzlich davon ausgegangen, dass in allen Jahren des Berichtszeitraums ab dem Jahr 1990 2 % des gebrannten Kalks als Staub über entsprechende Abgasreinigungseinrichtungen abgeschieden und dem Brennprozess nicht wieder zugeführt werden. Dies wird über eine fiktive Erhöhung der Aktivitätsraten um 2 % berücksichtigt. Seit dem Jahr 2015 sind die Filterstaubmengen in den vom BV Kalk übermittelten Aktivitätsraten enthalten und die Erhöhung um 2 % entfällt.

Die vom BV Kalk übermittelten Aktivitätsraten werden vom UBA aktuell jährlich um die Daten eines kleineren, nicht vom Verband erfassten Werkes ergänzt. Die Abschätzung dieses Werkes basierte i. d. R. auf den Angaben der im Anlagenkonto der DEHSt angegebenen Zuteilungsmenge. Seit 2013 sind für das Anlagenkonto dieses Werkes die tatsächlichen CO_2-Emissionen veröffentlicht und liegen unterhalb der zugeteilten Menge. Inzwischen kann bereits zum Zeitpunkt der Datenerhebung auf die tatsächlichen CO_2-Emissionen aus dem Anlagenkonto zugegriffen werden.

Die Bestimmung der Aktivitätsdaten entspricht dem Tier 2 - Ansatz der *2006 IPCC Guidelines* (IPCC (2006b): Band 3, Kapitel 2.3.1.3)

4.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.2)

In den EU-Monitoring-Leitlinien für den Emissionshandel wird eine Genauigkeit der Aktivitätsraten von 2,5 % gefordert. Da die Angaben des BV Kalk zur Kalkproduktion auf den Angaben der Betreiber im Rahmen des CO_2-Emissionshandels beruhen und durch die Abfrage auf zwei parallelen Wegen qualitätsgesichert werden und gleichzeitig der Anteil der nicht in den Verbandszahlen erfassten Werke (und nachträglich geschätzten Werke) gering ist, wurden die **Unsicherheiten** für die verwendeten **Aktivitätsraten** mit -2,5 % bzw. +2,5 % abgeschätzt. Dies gilt für Branntkalk und Dolomitkalk gleichermaßen.

Die Unsicherheiten für die verwendeten Emissionsfaktoren für Branntkalk wurden mit -11 % bzw. +5 % abgeschätzt. Die Unsicherheiten für die verwendeten Emissionsfaktoren für Dolomitkalk wurden mit -30 % bzw. +2 % abgeschätzt.

4.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.2)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Erfassung der Produktionsmengen durch den BV Kalk erfolgt über zwei verbandsinterne Abfragen im technischen und kaufmännischen Bereich der einzelnen Werke, die miteinander abgeglichen werden. Werksbezogene Abweichungen zwischen den beiden Abfragen werden vor der Weitergabe der Aktivitätsraten an das UBA aufgeklärt. Die an das UBA übersandten Aktivitätsraten sind daher hinreichend qualitätsgesichert (Tier 2).

Der Vergleich mit verfügbaren Informationen aus dem ETS ergab Abweichungen, die sich aus methodischen Unterschieden erklären lassen: zum einen zwischen den Vorgaben im ETS und bei IPCC, zum anderen auf Grund der Änderungen zwischen den Handelsperioden des ETS. Im Zuge

der Inventarüberprüfung (ICR 2016) konnte anhand von grafischen Gegenüberstellungen veranschaulicht werden, dass die methodisch bedingten Abweichungen keine Zweifel an der Datenqualität der Inventare begründen.

Die verwendeten IPCC-Default-Faktoren sind für die landesspezifische Methode geeignet.

Der Vergleich mit den prozessbedingten Emissionen im Emissionshandel ergab eine gute Übereinstimmung.

4.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.2)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.2.3 Mineralische Industrie: Glas (2.A.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 A 3, Glass Production		CO_2	780,5	0,1%	857,3	0,1%	9,8%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	AS	CS
NO_X, NMVOC, SO_2	Tier 2	AS	CS

Die Kategorie *Mineralische Produkte: Glas* ist keine Hauptkategorie.

4.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.3 Glas)

Die Glasindustrie in Deutschland stellt eine große Vielfalt an Gläsern her, die durch voneinander abweichende chemische Zusammensetzungen charakterisiert sind. In Deutschland finden sich folgende Sektoren innerhalb der Glasbranche: Behälterglas, Flachglas, Kristall- und Wirtschaftsglas, Spezialglas sowie Mineralfasern (Glas- und Steinwolle). Die anteilig höchste Produktion wird in den Sektoren Behälterglas (ca. Hälfte der Gesamtglasproduktion) und Flachglas (ca. ein Viertel der Gesamtglasproduktion) erreicht (Glas, 2021). In der Inventarberechnung ist keine Wasserglasproduktion enthalten. Sämtliche relevanten Sodaeinsatzmengen der Wasserglasproduktion sind unter 2.A.4.b (Kapitel 4.3.7) berücksichtigt.

Das aus Primär- und Sekundärrohstoffen homogen gemischte Glasgemenge wird bei Temperaturen zwischen 1450 °C und 1650 °C geschmolzen. Die hier betrachteten prozessbedingten CO_2 Emissionen entweichen während des Schmelzvorganges im Ofen aus den Karbonaten der Rohstoffe. Bei der Neutralisation von HF, HCL und SO_2 in den Abgasen mit Hilfe von Kalkstein oder anderen Karbonaten fallen ebenfalls CO_2-Emissionen an, jedoch in geringem Umfang. Diese werden hier aus diesem Grund nicht betrachtet.

Die folgende Tabelle zeigt die Trendverläufe der Aktivitätsraten, prozessbedingten CO_2-Emissionen und die sich über alle Glasarten ergebenden impliziten Emissionsfaktoren seit 1990.

Tabelle 172: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissonen seit 1990, IEF über alle Glasarten

Jahr	Aktivitätsrate [t]	prozessbedingte CO_2-Emissionen [t]	IEF über alle Glasarten [t CO_2/ t Glas]
1990	6.561.849	780.480	0,119
1991	7.202.807	821.376	0,114
1992	7.228.752	810.610	0,112
1993	7.074.837	778.104	0,110
1994	7.760.000	747.225	0,096
1995	7.621.300	881.306	0,116
1996	7.519.600	853.395	0,113
1997	7.392.000	833.771	0,113
1998	7.314.000	803.411	0,110
1999	7.442.239	822.236	0,110
2000	7.505.000	846.300	0,113
2001	7.293.000	846.289	0,116
2002	7.084.000	800.501	0,113
2003	7.205.720	788.726	0,109
2004	7.088.900	791.150	0,112
2005	6.948.400	802.746	0,116
2006	7.285.600	842.228	0,116
2007	7.535.300	829.060	0,110
2008	7.513.900	824.868	0,110
2009	6.784.100	745.664	0,110
2010	7.163.600	828.828	0,116
2011	7.341.600	835.138	0,114
2012	7.079.700	823.341	0,116
2013	7.255.900	860.111	0,119
2014	7.458.900	891.901	0,120
2015	7.397.900	916.423	0,124
2016	7.476.817	923.498	0,124
2017	7.552.202	882.713	0,117
2018	7.607.725	898.409	0,118
2019	7.377.607	866.171	0,117
2020	7.356.100	857.264	0,117

Es ist zu erkennen, dass der Emissionsverlauf dem Trend der Aktivitätsraten weitgehend folgt. In den impliziten Emissionsfaktoren lässt sich ablesen, dass es aber keine starre Korrelation ist, sondern Abweichungen dazu auftreten. Ursache dafür sind die jährlichen Schwankungen bei der Produktionsmenge einzelner Glassorten und bei den Scherbeneinsätzen, was nachvollziehbar und rechnerisch einwandfrei ist. Der insgesamt steigende IEF über alle Glasarten kommt von der absoluten und relativen Zunahme emissionsstärkerer Produkte wie vor allem Mineralfasern.

Die für die Herstellung von Glas auch auftretenden Emissionen der sogenannten Vorläufersubstanzen werden hier nicht thematisiert, können aber wegen Einschränkungen der UNFCCC-Software auch nicht in dieser Kategorie berichtet werden, sondern in Kapitel 4.2.4.4.

4.2.3.2 Methodische Aspekte (2.A.3 Glas)

Für die Berechnung der CO_2-Emissionen (wesentlicher Schadstoff) kommt eine Tier-2-Methode zur Anwendung, weil die detaillierten Aktivitätsraten mit spezifischen Emissionsfaktoren gekoppelt werden (entsprechend Karbonatgehalten). Es werden die folgenden Karbonate als hauptsächliche Quelle für die CO_2-Bildung während des Schmelzvorgangs betrachtet: Kalciumkarbonat ($CaCO_3$), Soda/Natriumkarbonat (Na_2CO_3), Magnesiumkarbonat ($MgCO_3$) und Bariumkarbonat ($BaCO_3$). Hier werden die CO_2-Emissionen aus sämtlichen Karbonaten in Summe berichtet, Hinweise zu den Rohstoffeinsatzmengen von Soda sind unter 2.A.4.b (siehe

4.2.4.2) zu finden. Dabei ist zu beachten, dass die berechneten Sodaeinsatzmengen nicht veröffentlicht werden können, weil die Produktionsdaten von Soda einer statistischen Geheimhaltung unterliegen und auch nicht über Bilanzrechnungen ermittelbar sein dürfen.

Die Produktionszahlen (**Aktivitätsraten**) werden den regelmäßig erscheinenden Jahresberichten des Bundesverbandes Glasindustrie entnommen. Die Produktion bezieht sich auf die Masse an produziertem Glas, die der Masse an geschmolzenem Glas gleich gesetzt wird. Dabei ist zu beachten, dass ein Teil der Schmelze, der der Menge an internen Scherben entspricht, nicht in der Produktionsstatistik berücksichtigt ist (siehe auch unten Hinweise zum Scherbeneinsatz). Somit entspricht die statistische Angabe nicht der tatsächlichen Menge an geschmolzenem Glas, sondern der Schmelze aus Primärrohstoffen und Fremdscherben. Die Weiterverarbeitung und Veredlung des Glases bzw. der Glasgegenstände werden nicht betrachtet.

Für das Jahr 2020 wurden folgende Aktivitätsraten ermittelt:

Tabelle 173: Glas: Aktivitätsraten der einzelnen Branchensektoren (Glassorten)

Branchensektor	Aktivitätsrate 2020 [t]
Behälterglas	4.011.120
Flachglas	2.115.694
Glasfasern und -wolle	378.034
Spezialglas	355.940
Steinwolle	644.501
Wirtschaftsglas	46.914

Quelle: (Glas, 2021)

Es werden folgende branchenspezifische Scherbenanteile angenommen:

Tabelle 174: Scherbenanteil der einzelnen Glassorten

Branchensektor	Scherbenanteil [%] des Rohstoffeinsatzes
Behälterglas	58 – 65(jährlich variabel)
Flachglas	10 (gesamte Zeitreihe)
Wirtschaftsglas	5 (gesamte Zeitreihe)
Spezialglas	5 (gesamte Zeitreihe)
Glasfasern und -wolle	40 (gesamte Zeitreihe)
Steinwolle	40 (gesamte Zeitreihe)

Quelle: Gitzhofer et al. (2008) sowie Erhebungen des BV Glas (BV Glas, 2020)

Bei Behälterglas ist der Scherbenanteil nur für die alten Bundesländer ab 1990 und für Deutschland ab 1995 bekannt. Für die neuen Bundesländer liegen für die Zeit zwischen 1990 und 1994 keine Daten vor, daher wurde anhand der durchschnittlichen Anteile der verschiedenen Glassektoren an der Gesamtproduktion ein durchschnittlicher Scherbeneinsatz angenommen. Im Jahr 2007 wurde die Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung mbH (GGA) kartellrechtlich verboten, so dass ab dem Jahr 2007 keine gesicherten Daten zum Scherbeneinsatz mehr aus dieser Quelle vorliegen. Seit 2012 stellt der BV Glas Daten zu Scherbeneinsätzen in der Behälterglasindustrie ab 2007 zur Verfügung, die aus Verbandserhebungen stammen (BV Glas, 2020). Zudem verifiziert der BV Glas die anderen für die Berichterstattung genutzten Scherbenanteile mit den ihm vorliegenden Mitgliederangaben. In den Scherbenanteilen der Sektoren sind ausschließlich externe Scherben enthalten, da interne Scherben nicht in der Produktionsstatistik erfasst werden, auf die sich wiederum die Aktivitätsraten stützen. Der Gesamtanteil an Scherben in den Wannen ist teilweise deutlich

höher, je nachdem wieviel interne Scherben bei der Produktion anfallen (z.B. bei einem Farbwechsel).

Da die während des Schmelzvorgangs entstehenden Abgase sowie die verbrennungsbedingten Abgase als gesammelter Abgasvolumenstrom abgeführt werden, können für die in der deutschen Glasindustrie emittierten Mengen an CO_2 keine Messergebnisse verwendet werden. Es wird daher ein Berechnungsverfahren angewandt, das auf Basis der Gewichtsanteile der oben erwähnten Karbonate sowie dem Einsatz von Scherben in der Behälter- und Flachglasindustrie beruht. Die Angaben zur chemischen Zusammensetzung der verschiedenen in Deutschland produzierten Glassorten stammen aus der VDI-Richtlinie 2578 (VDI, 2017) sowie dem ATV-DVWK-Merkblatt 374 (ATV, 2004).

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der **Emissionsfaktoren** für die einzelnen Glasoxide und der Emissionen ist detailliert im NIR 2007 (Kapitel 4.1.7.2, S. 251ff) beschrieben.

Für die Branchensektoren wurden folgende Emissionsfaktoren errechnet, die bei wechselndem Scherbeneinsatz jährlich schwanken (Spannenangabe bei Behälterglas).

Tabelle 175: CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (berechnet im Vergleich mit Angaben der IPCC Guidelines 2006

Glassorte	berechneter Emissionsfaktor [kg CO_2/ t geschmolzenes Glas] - stöchiometrisch/ inkl. Scherbeneinsatz-	Default-Emissionsfaktoren [kg CO_2/ t geschmolzenes Glas] - laut 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tab. 2.6)-
Behälterglas	193 / 49 – 86*	210
Flachglas	208 / 187	210
Wirtschaftsglas	120 / 114	100
Spezialglas	113 / 107	30 - 200
Glasfasern	198 / 119	190 - 250
Steinwolle	299 / 179	-
unspezifiziert	174 / 139	-

* zuletzt bei 81 kg CO_2 pro t geschmolzenen Glases

Die stöchiometrischen berechneten Emissionsfaktoren liegen sehr nah an den Default-Faktoren. Die Emissionsfaktoren inklusive Scherbeneinsatz liegen deutlich unterhalb der Default-Werte, da in Deutschland der Scherbeneinsatz traditionell sehr hoch ist. Lediglich für Wirtschaftsglas gilt dies nicht, was an den hohen Qualitätsanforderungen und den damit verbundenen niedrigen Scherbeneinsätzen liegen kann.

4.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.3 Glas)

Die Produktionsdaten stammen aus der verbandsinternen Statistik des BV Glas. Dieser vertritt nahezu alle Behälter- und Flachglashersteller Deutschlands, damit sind die Daten dieser Branchensektoren sehr genau und es wurde eine Unsicherheit von 5 % angesetzt. Alle anderen Glassektoren vertritt der Verband nicht vollständig und kann daher keine Vollständigkeit garantieren. Daher wird von einer Unsicherheit von 10 % ausgegangen. Bis ca. 2002 hat der BV Glas ebenfalls die Daten mit den Daten des *Statistischen Bundesamtes* abgeglichen.

Die Unsicherheit bei den Scherbenangaben für Behälterglas liegt in der üblichen Spannbreite statistischer Erfassung. Für die neuen Bundesländer wurde eine Unsicherheit von 20 % angenommen, weil keine statistische Erhebung sondern nur eine Schätzung vorliegt. Die Nutzung von Daten aus verbandsinternen Erhebungen zum Scherbeneinsatz ab 2007 erhöht die Unsicherheiten. Dazu zählt der Fakt, dass nur betriebsinterne Scherben und externe Behälterglasscherben erfasst werden, aber nicht die Mengen an Flachglas, die eventuell in der Behälterglasproduktion eingesetzt werden.

Die Angaben zum Scherbeneinsatz bei allen anderen Glasarten hingegen sind deutlich ungenauer, da dort nur Schätzungen vorliegen. Es wurde daher eine Unsicherheit von 20 % angesetzt.

Für die CO_2-Emissionsfaktoren wurde eine Unsicherheit von 14 % für Behälterglas und 22 % für alle anderen Glasarten angegeben.

4.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.3 Glas)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die errechneten Emissionsfaktoren wurden mit mehreren Quellen verglichen, u.a. mit den IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) sowie dem Emissionsfaktoren-Handbuch „Emissionserklärung 2004 Baden-Württemberg“ (UMEG, 2004). Die errechneten Emissionsfaktoren können danach als zutreffend eingeschätzt werden. Darüber hinaus wurde der IEF mit dem folgender Länder verglichen, die ebenfalls die Sodanutzung nicht separat sondern in die Glasherstellung integriert berichten: Spanien (0,10), Italien (0,10) und Portugal (0,09). Diese Werte sind mit dem deutschen IEF für die Glasindustrie (um 0,1 schwankend) vergleichbar.

Die berechneten Emissionen wurden ebenfalls mit den ETS-Daten in Deutschland abgeglichen. Dabei lagen die berechneten Emissionen ungefähr 1,2% unter denen gemäß ETS, was mit einer unterschiedlichen Zuordnung der Materialien zu prozess- und energiebdingten Emissionen begründet werden kann.

Die Angaben zur chemischen Zusammensetzung der einzelnen Glassorten werden weiterhin als richtig angesehen. Erheblichen Einfluss hat aber die Rate des Scherbeneinsatzes, für die die Datenlage immer noch verbesserungswürdig ist (siehe Kapitel 4.2.3.3).

4.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.3 Glas)

Es waren keine Rückrechnungen notwendig.

4.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.3 Glas)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.2.4 Mineralische Industrie: Weiterer Einsatz von Karbonaten (2.A.4)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO_2	1.458,0	0,1%	647,8	0,1%	-55,6%

Die übergeordnete Kategorie 2.A.4 - *Mineralische Produkte: Weiterer Einsatz von Karbonaten* ist keine Hauptkategorie. Diese Kategorie wird wesentlich von der Keramikindustrie bestimmt, was sowohl die Höhe der Emissionen wie auch die Detailliertheit der Methode betrifft.

4.2.4.1 Mineralische Industrie: Keramik (2.A.4.a)

4.2.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.a Keramik)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	NS	CS
NO_x, NMVOC, SO_2	Tier 1	NS	CS

Wie die Glasindustrie ist auch die Keramikindustrie in Deutschland sehr heterogen geprägt. Sie umfasst eine Vielzahl an Produkten, die durch unterschiedliche Einsatzbereiche und entsprechende chemische Zusammensetzungen charakterisiert sind. Neben Ton (als Hauptrohstoff), Sand und anderen natürlichen Rohstoffgemengen werden auch synthetisch hergestellte Stoffe wie z.B. Aluminiumoxid und Siliziumdioxid eingesetzt. Nachfolgende Einsatzgebiete können in Deutschland innerhalb der Keramikbranche unterschieden werden: Baukeramik (Ziegel, Fliesen, Drainrohre), Sanitärkeramik (WC-Becken, Waschtische), Geschirrkeramik (Tafelservice, Haushaltsporzellan), Technische Keramik (Isolatoren, Konstruktionsbauteile), Feuerfestkeramik (Ofenmauerwerk, Feuerbeton), Keramisch gebundene Schleifkörper und Blähton (VDI-Richtlinie 2585) (VDI, 2006). Die anteilig höchste Produktionsmenge wird in den Sektoren Ziegel (ca. 80 % der Gesamtkeramikproduktion) erreicht, gefolgt von Feuerfesterzeugnissen (ca. 10 %) und Fliesen (ca. 6 %).

Das aus Primärrohstoffen – und nur in geringen Mengen Sekundärrohstoffen - homogen gemischte Gemenge wird vorwiegend in Tunnelöfen und Herdöfen bei Ofentemperaturen zwischen 800 - 1.300 °C gebrannt. Die Verweilzeiten sind sehr stark von den Produkten abhängig und betragen in der Regel mehrere Stunden (BREF CER 2007)(European Commission, 2007a). Bei Feuerfesterzeugnissen und technischen Keramiken werden auch weitaus höhere Brenntemperaturen genutzt. Die hier betrachteten prozessbedingten CO_2-Emissionen entweichen während des Brennvorganges im Ofen. Diese kommen sowohl aus den karbonatischen als auch aus den fossilen Bestandteilen des Rohstoffes. Teilweise stammen die prozessbedingten CO_2-Emissionen auch aus sogenannten Porosierungsmitteln (u.a. Sägemehl, Papierfangstoffe, Polystyrol), die insbesondere bei der Ziegelherstellung (Hintermauerziegel) eingesetzt werden. Bei der Bestimmung der CO_2-Emissionsfaktoren werden nur die nicht-biogenen Anteile berücksichtigt.

Die Zeitreihen „keramische Erzeugnisse“ (siehe Tabelle 176) umfassen die Aktivitätsraten sowie die prozessbedingten CO_2-Emissionen der gesamten Keramikindustrie in Deutschland seit 1990[57]. Über diese Aktivitätsraten werden auch die Nicht-CO_2-Emissionen (NO_X, NMVOC, SO_2, etc.) der gesamten keramischen Industrie berechnet.

Tabelle 176: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissionen der keramischen Industrie (CRF 2.A.4.a), seit 1990

	Aktivitätsrate [kt]		prozessbedingte CO_2-Emissionen [kt][58]
	Gesamte Keramikproduktion	CO_2-relevante Keramikproduktion[58]	
1990	17.691	15.628	1.122
1991	18.401	16.415	1.188
1992	19.551	17.629	1.308
1993	21.731	19.829	1.495
1994	25.128	23.334	1.815

[57] Blähton ist hier nicht berücksichtigt da keine Daten (Produktionsmengen/ Aktivitätsraten) verfügbar

[58] Hintermauerziegel, Vormauerziegel, Ziegel für Boden- und Straßenbeläge, Dachziegel und Zubehör, Fliesen, Steinzeug, keramische Rohre und andere Bau-Formen, Haushalts- und Hygienekeramik: Porzellan, Haushalts- und Hygienekeramik: Steinzeug, Steingut

	Aktivitätsrate [kt]		prozessbedingte CO_2-Emissionen [kt][58]
	Gesamte Keramikproduktion	CO_2-relevante Keramikproduktion[58]	
1995	25.167	23.254	1.742
1996	22.671	20.943	1.557
1997	22.691	20.949	1.554
1998	22.461	20.714	1.499
1999	21.841	20.222	1.445
2000	20.649	18.914	1.314
2001	17.416	15.775	1.072
2002	16.094	14.418	969
2003	15.960	14.262	955
2004	16.135	14.398	940
2005	14.199	12.547	772
2006	15.123	13.352	849
2007	15.164	13.269	836
2008	13.242	11.376	697
2009	10.814	9.498	574
2010	11.921	10.254	607
2011	12.877	11.113	653
2012	12.329	10.732	627
2013	12.032	10.480	611
2014	11.909	10.313	582
2015	11.645	10.084	552
2016	11.702	10.170	565
2017	12.039	10.421	571
2018	11.971	10.401	556
2019	12.039	10.586	569
2020	11.611	10.371	552

Quelle: eigene Berechnungen UBA

4.2.4.1.2 Methodische Aspekte (2.A.4.a Keramik)

Die 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories enthalten Hinweise zur Berechnung der prozessbedingten CO_2–Emissionen für die Keramikindustrie (IPCC (2006b): Band 3, Kapitel 2.5.1 ‚Ceramics'). Dabei wird diesem Industriesektor grundsätzlich die Herstellung folgender Produktgruppen zugeordnet: Dach- und Mauerziegel, Steinzeugrohre, feuerfeste Erzeugnisse, Blähton, Wand- und Bodenfliesen, Haushaltskeramik, Sanitärkeramik, technische Keramik, anorganisch gebundene Schleifmittel. Bezogen auf die produzierte Menge, sind die Produktgruppen Dach- und Mauerziegel, feuerfeste Erzeugnisse sowie Wand- und Bodenfliesen als relevant anzusehen. Entsprechend der Datenlage werden fast alle Produkte für die Emissionsberechnungen berücksichtigt.

Für die Einschätzung der Methode liefern die IPCC-Guidelines 2006 nur Hinweise bezüglich des Karbonateinsatzes. Weil mit der vorliegenden Methode weitere CO_2-Quellen berücksichtigt werden, wird diese als eine länderspezifische Tier-2-Methode eingeschätzt.

Aktivitätsdaten

Für die Produktionszahlen (Aktivitätsraten) werden die Daten vom Statistischen Bundesamt herangezogen (W. Statistisches Bundesamt, 2021a). Zur Vervollständigung der Datenlage zu allen Produktkategorien der keramischen Industrie, auch im Hinblick auf die Ermittlung der prozessbedingten CO_2-Emissionen, wurde im Rahmen eines Sachverständigengutachtens, in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Bundesamt, für jede Produktkategorie die jeweilige Jahresproduktion ermittelt (Gottwald et al., 2017). Der betrachtete Projektzeitraum lag zwischen

1990 – 2015 und wurde seitdem weiter entwickelt. Die Anzahl der damit zu berücksichtigenden Produktkategorien aus der amtlichen Statistik schwanken zwischen 52 und 67, mit der letzten Anpassung zum Jahr 2019 sind es 57 Produktmeldenummern. Die Datenlieferung des Statistischen Bundesamts liegt je nach Produkt in unterschiedlichen Einheiten vor (Tonne, Quadratmeter, Stück, Wert). Um eine konsistente Bearbeitung der Daten zu ermöglichen, ist eine Vereinheitlichung der Maßangaben in Tonne [t] notwendig. Eine Ermittlung der produzierten Massen, die nicht in der Einheit Tonne [t] vorliegen, ist nur über Umrechnungsfaktoren möglich. Die Umrechnungsfaktoren sind im Projektbericht einsehbar.

Ab Datenjahr 2019 erfolgt die Umrechnung der Fliesen – die in Quadratmetern gemeldet werden – nach einer angepassten Methode. Die vormals zehn statistischen Meldenummern für verschiedene Fliesenprodukte werden ab Datenjahr 2019 in drei neue Meldegruppen mit neuer Systematik – geordnet nach der Wasseraufnahmekapazität – veröffentlicht. Dabei wurden Anteile der alten Gruppen auf die neuen Gruppen verteilt und die davor verwendeten Umrechnungsfaktoren somit ungeeignet. Die für die Umrechnung in die Einheit Tonne notwendigen durchschnittlichen Flächengewichte wurden mit dem Bundesverband Keramische Fliesen e.V. im August 2020 diskutiert und zugewiesen (Bundesverband Keramische Fliesen, 2020).

Die Umrechnungsfaktoren für Vormauer-, Hintermauer- und Dachziegel wurden abweichend zum Sachverständigengutachten nach Hinweisen des Bundesverbands der Deutschen Ziegelindustrie e. V. in Fachgesprächen mit Vertretern von Umwelt- und Industrieverbänden erarbeitet. Hierfür werden Durschnittswerte für die Rohdichten der Hintermauerziegel verwendet. Diese wurden für das Jahr 1994 und für das Jahr 2016 ermittelt. Die Rohdichten sinken im Zeitverlauf stetig, da der Anteil an porosierten Produkten und der Grad der Porosierung zunehmen. Die Werte für die Jahre zwischen 1994 und 2016 sind linear interpoliert.

Emissionsfaktoren

Die prozessbedingten CO_2-Emissionen stammen aus dem Rohstoff für die Herstellung keramischer Erzeugnisse. I.d.R. sind dies lokal vorhandene Lehme und Tone, die unterschiedliche Anteile an nicht biogenen Kohlenstoffen (wie Karbonate) und organischen Kohlenstoffen enthalten. Darüber hinaus werden in geringem Maße prozessbedingte CO_2-Emissionen auch über sogenannte Porosierungsmittel verursacht, die bei der Herstellung von Hintermauerziegeln dem Rohmaterial zugemischt werden. Als Porosierungsmittel kommen vorwiegend erneuerbare Ressourcen (z.B. Schlämme aus der Papierindustrie, auch mit fossilen Anteilen, sowie Papierfasern), in geringen Mengen aber auch nicht erneuerbare Stoffe (vor allem Polystyrol) zum Einsatz. Auch sogenannte (organische) Bindemittel, die ebenfalls in geringen Mengen für die Herstellung von Feuerfest- und Schleifmittelerzeugnisse eingesetzt werden, tragen zu prozessbedingten CO_2-Emissionen bei, allerdings in nicht relevanten Mengen.

Die für Deutschland geeigneten Emissionsfaktoren wurden in zwei Stufen erarbeitet: Zuerst durch eine Kennzeichnung der statistischen Angaben für CO_2-relevante Produktgruppen (Gottwald et al., 2017); zusätzlich wurden von der deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) konkrete Emissionsfaktoren berechnet (Rothe, 2017). Hierbei wurden u.a. verifizierte Daten von Anlagen (Emissionsberichte, Produktzuordnung, Produktionsmengen, Glührückstand von Rohmaterialproben) der Jahre 2012 bis 2015 herangezogen, die der DEHSt vorlagen[59]. Produktgruppen, bei denen die Emissionsfaktoren durch die DEHSt nicht direkt ermittelt werden konnten, aber als CO_2-relevant gelten, sind durch Annahmen und Analogien mit anderen

[61] Dieser Wert entspricht nicht dem CO_2-IEF, der in den CRF-Tabellen erscheint, weil dort die gesamte Aktivitätsrate aller keramischen Produkte angegeben wird. Dabei sind Produkte subsummiert, die auf Grund ihrer Rohstoffzusammensetzung und Qualitätsansprüche keine Karbonate oder CO_2-relevante Zuschläge enthalten.

Produktgruppen (Rohstoffzusammensetzung) ergänzt worden (Expertenschätzung)[60]. Als Ergebnis dieses schrittweisen Bewertens wurden Feuerfestprodukte, Ziergegenstände, technische Keramiken und Schleifmittel von den CO_2-Berechnungen ausgeschlossen.Tabelle 177 enthält die für die unterschiedlichen Produktgruppen ermittelten CO_2- Emissionsfaktoren.

Tabelle 177: CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene keramische Produktgruppen

Produktgruppe	CO_2- Emissionsfaktor [t_{CO2} / $t_{Produkt}$]	Bemerkungen
Fliesen, Steinzeug	0,018	DEHSt
Hintermauerziegel	0,1047	DEHSt
Vormauerziegel	0,0189	DEHSt
Ziegel für Boden- und Straßenbeläge	0,016	DEHSt/ UBA*
Dachziegel, Zubehör	0,0112	DEHSt
keramische Rohre und andere Bau-Formen	0,0112	DEHSt/ UBA*
Haushalts- und Hygienekeramik: Porzellan	0,009	DEHSt/ UBA*
Haushalts- und Hygienekeramik: Steinzeug, Steingut	0,018	DEHSt/ UBA*

* als Expertenschätzung ermittelte Emissionsfaktoren (siehe obige Beschreibung)

Der Implied emission factor (IEF) für die deutsche Keramikindustrie ergibt sich aus den prozessbedingten CO_2-Emissionen und der Aktivitätsrate der CO_2-relevanten Keramikproduktion für das jeweilige Jahr (siehe Tabelle 176). Für 2018 kann damit ein IEF von 0,053 $t_{CO2}/t_{Produkt}$ errechnet werden[61]. Der im Vergleich zum NIR 2019 deutlich niedrigere Wert ergibt sich aus den neuen Umrechnungsfaktoren für die Rohdichte von Ziegeln, weil damit die mengenmäßig stärkste und emissionsrelevanteste Produktart im Produktionsmassenanteil abnimmt.

4.2.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.a Keramik)

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden u.a. wegen der erforderlichen Umrechnungen von Stückzahlen, Volumen- und Flächenangaben auf produzierte Massen (Tonnen [t]) sowie der Unsicherheiten bei der Erfassung der Produktionsstatistik auf + 6 % / - 7 % geschätzt.

Die Unsicherheiten der verwendeten **CO_2-Emissionsfaktoren** für die in Tabelle 177 genannten Produktgruppen sind teilweise sehr verschieden. Beispielsweise liegen die Unsicherheiten bei den Produktgruppen Hintermauerziegeln bei -18 % / +18 % und Fliesen bei -53 % / +53 %. Die ermittelten Unsicherheiten sind überwiegend auf die empirisch erfassten Daten der DEHSt zurückzuführen. Für die nicht direkt ermittelten Emissionsfaktoren (wie keramische Rohre, etc.) kamen anteilig noch Unsicherheiten für angewendete Analogien hinzu (z.B. Haushalts- und Hygienekeramik: -57 % / +57 %).

Zeitreihenkonsistenz bezüglich der Aktivitätsraten ist für den Großteil der in Tabelle 177 genannten Produktgruppen und für die damit verknüpften CO_2-Emissionsfaktoren gegeben. Zeitreihenbrüche vereinzelter Produktgruppen (Änderungen hinsichtlich der Verfügbarkeit statistischer Daten, Produktgruppenänderungen in der Vergangenheit) sind in Gottwald et al. (2017) erfasst und beschrieben worden. Diese Brüche sind für die CO_2-Emissionen irrelevant oder zu vernachlässigen.

[61] Dieser Wert entspricht nicht dem CO_2-IEF, der in den CRF-Tabellen erscheint, weil dort die gesamte Aktivitätsrate aller keramischen Produkte angegeben wird. Dabei sind Produkte subsummiert, die auf Grund ihrer Rohstoffzusammensetzung und Qualitätsansprüche keine Karbonate oder CO_2-relevante Zuschläge enthalten.

[61] Dieser Wert entspricht nicht dem CO_2-IEF, der in den CRF-Tabellen erscheint, weil dort die gesamte Aktivitätsrate aller keramischen Produkte angegeben wird. Dabei sind Produkte subsummiert, die auf Grund ihrer Rohstoffzusammensetzung und Qualitätsansprüche keine Karbonate oder CO_2-relevante Zuschläge enthalten.

4.2.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.a Keramik)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die berechneten CO_2-Emissionen sind nachvollziehbar und liegen in der Größenordnung der im ETS erfassten Emissionen.

Ein Vergleich mit IPCC-Default-Emissionsfaktoren ist nicht möglich, weil in den Guidelines Emissionsfaktoren nur auf die Rohstoffe bezogen sind. Die landesspezifischen Emissionsfaktoren beziehen sich jedoch auf die Produkte.

Der CO_2-IEF der deutschen Keramikindustrie liegt, wie der der meisten anderen Länder, im unteren bis mittleren Bereich. In einigen Ländern liegen die IEF-Werte jedoch um den Faktor 5 bis 10 höher, was nicht vergleichbar erscheint.

4.2.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.a Keramik)

Die Aktivitätsraten für 2019 wurden seitens der amtlichen Statistik in einer Position nachträglich korrigiert. Deswegen deckt sich die Aktivitätsrate für 2019 nicht mit der aus dem vorjährigen Bericht. Der betroffenen Position ist kein CO_2-Emissionsfaktor zugeordnet. Die Änderung hat somit keine Auswirkungen auf die berichteten CO_2-Emissionen für 2019.

4.2.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.a Keramik)

Derzeit sind über die unter Kapitel 4.2.4.1.4 benannte Prüfung hinaus keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.2.4.2 Mineralische Industrie: weitere Sodanutzung (2.A.4.b)

4.2.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.b)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1	NS	D

Die übergeordnete Kategorie 2.A.4 - *Mineralische Produkte: Weiterer Einsatz von Karbonaten* ist keine Hauptkategorie.

Das Produkt Soda wird in der Industrie für die verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Die wichtigsten Einsatzfelder sind die Glasindustrie, die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln und die chemische Industrie. Es wird davon ausgegangen, dass der im Soda enthaltene Kohlenstoff unabhängig von der Nutzungsart früher oder später als CO_2 in die Luft freigesetzt wird.

Emissionen, die sich aus der Nutzung von Soda ergeben, stehen in einem festen Verhältnis zu den berechneten Verwendungsmengen, hier außerhalb der Glasindustrie (siehe methodische Aspekte im folgenden Kapitel):

Tabelle 178: Aktivitätsraten und nutzungsbedingte CO_2-Emissonen außerhalb der Glasindustrie seit 1990

Jahr	Aktivitätsrate [t]	CO_2-Emissionen [kt]
1990	809.885	336,1
1995	340.793	141,4
2000	411.281	170,7
2005	517.159	214,6
2006	484.871	201,2
2007	550.966	228,7
2008	538.477	223,5
2009	457.076	189,7
2010	528.885	219,5
2011	587.144	243,7
2012	516.444	214,3
2013	591.149	245,3
2014	516.915	214,5
2015	470.288	195,2
2016	495.780	205,7
2017	494.922	205,4
2018	459.160	190,6
2019	340.998	141,5
2020	230.069	95,5

Quelle: Berechnungen des UBA, Herleitung siehe folgendes Kapitel

4.2.4.2.2 Methodische Aspekte (2.A.4.b)

Aktivitätsdaten

Seit der Inventarüberprüfung 2010 werden die verwendeten Sodamengen ermittelt, die nicht in anderen Kategorien für Emissionsberechnungen berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um eine Berechnung, die auf die höchst mögliche Emission aus der Nutzung von Soda abzielt. Die Gesamtsumme des in Deutschland genutzten Sodas wird über eine Bilanzierung (Produktionsmenge plus Import abzüglich Export) ermittelt (a). Die Im- und Exportmengen werden der Außenhandelsstatistik vom Statistischen Bundesamt entnommen (Statistisches Bundesamt, o.J.-a). Die Emissionen aus der Verwendung von Soda in der Glasindustrie werden bereits unter der Kategorie 2.A.3 quellspezifisch berücksichtigt (b). Die dort eingesetzten Mengen an Soda werden bei der hier relevanten Sodanutzung abgezogen. Die Aktivitätsdaten aus obiger Tabelle (c) ergeben sich nach folgender Formel:

c = a minus b

Bei der Ermittlung der Bilanz seit dem Jahr 2017 wurde auf eine Fortschreibung des Außenhandelssaldo zurück gegriffen, weil das Statistische Bundesamt eine sehr hohe Exportangabe geliefert hat. Weil mit diesen Angaben kein plausibler Bilanzrahmen vorliegt, erfolgt die Fortschreibung eines Mittelwertes aus den fünf vorhergehenden Jahren. Inzwischen sind Rücksprachen mit Herstellern und Statistikämtern erfolgt, die das Ziel verfolgen, die veröffentlichten Angaben zu korrigieren. Die Klärung dieser Angaben dauerte zur Zeit der Inventarerstellung noch an.

Emissionsfaktor

Für die Anwendung von Soda beträgt der Emissionsfaktor stöchiometrisch 415 kg CO_2 pro Tonne Soda unter der Annahme, dass eine vollständige Freisetzung erfolgt (konservativer Ansatz).

4.2.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.b)

Aktivitätsdaten

Die Berechnungen der relevanten Mengen an genutztem Soda weisen hohe Unsicherheiten auf (maximal -18%/+18%), weil zu den statistischen Schwankungsbreiten der Sodaproduktion und des Außenhandels mit Soda Berechnungsannahmen o.g. Herleitung hinzukommen.

Mit den niedrigen Werten seit 2017 ergibt sich ein sinkender Trend, der nicht fachlich erklärt werden kann, sondern sich technisch aus der verwendeten Bilanzmethode ergibt.

Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor für die Verwendung von Soda weist kleine, begründete Unsicherheiten im Bereich von Produktreinheit und Vollständigkeit des chemischen Umsatzes auf (-5%/+0%).

4.2.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.b)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Momentan lassen sich die verwendeten Sodamengen, die nicht der Glasindustrie zuzuordnen sind, nicht quantitativ verifizieren. Sie stellen aber als konservative Schätzung keine Unterschätzung des Inventars dar. Qualitativ stehen die Berechnungsergebnisse den stichprobenartig bekannten Absatzzahlen der Sodahersteller nicht entgegen.

Der stöchiometrische Emissionsfaktor entspricht den Default-Angaben der IPCC-Guidelines (IPCC (2006b): Band 3, Ch. 2, table 2.1)

4.2.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.b)

Es waren keine Rekalkulationen notwendig.

4.2.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.b)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet. Darüber hinaus sind keine Verbesserungen geplant.

4.2.4.3 Herstellung nichtmetallurgischer Magnesiumprodukte (2.A.4.c)

4.2.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.c)

Die Treibhausgas-Emissionen aus dieser Kategorie betragen weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) und unterschreiten 500 kt CO_2-Äquivalente, zudem kann eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden (UNFCCC, 2013a). Somit wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet. In diesem Kapitel findet einmalig eine quantitative Abschätzung der somit nicht im Inventar berücksichtigten Emission statt. Eine Zusammenstellung aller als ‚not estimated' erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 21 dieses Berichtes.

4.2.4.3.2 Methodische Aspekte (2.A.4.c)

Geeignete Aktivitätsdaten für diesen Quellkategoriezuschnitt konnten nicht in den amtlichen Statistiken identifiziert werden. Einige Produktarten wie Feuerfeststeine sind bereits in den Aktivitätsdaten der keramischen Industrie enthalten (CRF 2.A.4.a, Kapitel 4.2.4). Die darüber hinaus identifizierte „Herstellung von anderen Karbonaten" ist eine Sammelposition, bei der Magnesiumkarbonate eine nicht ausweisbare Teilmenge ausmachen. Die sich ergebende

Zeitreihe belegt nur Produktionsmengen unterhalb 300.000 t. Erst ab ca. einer Million Tonnen eines Produkts mit hohem Anteil an CaO und MgO würde die Schwelle zur Berücksichtigung erreicht werden. Keine in Frage kommende Produktart, auch nicht die bereits in anderen Kategorien erfassten, erreicht dieses Maß.

Eine genaue Berechnung der potentiellen CO_2-Emissionen ist auf Grund der statistischen Sammelpositionen kaum möglich, sie wird auf deutlich weniger als 100.000 t Kohlendioxid geschätzt.

4.2.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.c)

Aussagen über Unsicherheiten und Angaben zur Zeitreihenkonsistenz sind nicht möglich.

4.2.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.c)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wurde für diese Berichterstattung keine QK/QS durchgeführt.

Eine erste Schätzung erfolgte im Rahmen eines Forschungsprojektes und wurde vom fachlichen Ansprechpartner im UBA geprüft und in der oben beschriebenen Weise bestätigt.

4.2.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.c)

Die Betrachtung von Rekalkulationen entfällt auf Grund der nicht ausgewiesenen Emissionen.

4.2.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.c)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.2.4.4 Mineralische Industrie: weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d)

4.2.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.d)

Emissionen von Kohlendioxid dieser Quellgruppe werden nicht gesondert berichtet, sondern werden in den Quellgruppen berichtet, in denen Kalkstein und Dolomit verwendet wird (Included Elsewhere - IE). In den jeweiligen Quellgruppen erfolgt auch die Berücksichtigung in der Hauptquellgruppenanalyse.

Emissionen der Vorläufersubstanzen SO_2, NO_X, CO sowie NMVOC werden in dieser Kategorie berichtet, wenn die 'CRF Reporter Inventory Software' von UNFCCC keinen Eintrag in Subkategorien gestattet, im Einzelnen sind das Folgende:

- NO_X und NMVOC aus 2.A.1, 2.A.2 und 2.A.3,
- SO_2 aus 2.A.2 und 2.A.3 inklusive einer statistischen Angabe für das Gebiet der 'Neuen Bundesländer' in 1990,
- CO aus 2.A.2 und 2.A.3,
- diese Allokation bedingt, dass keine Angabe von Aktivitäten in den CRF-Tabellen möglich ist.

Alle anderen Vorläufersubstanzen werden in den Kategorien berichtet, denen die Emissionen zuzuordnen sind (keine Restriktionen der CRF-Reporter-Software).

In dieser Quellgruppe wurden bis zur Submission 2014 in Ergänzung zu den IPCC-Guidelines 1996 die gesamte Produktion und Verwendung von Kalkstein und Dolomit bilanziell betrachtet

und Abgleiche mit den Quellgruppen des Inventars vorgenommen. Die „Kalksteinbilanz“ (Röhling & Kludt, 2010) kann im NIR 2014 letztmalig nachvollzogen werden.

Für den Einsatz von Kalkstein in anderen emissionsrelevanten Bereichen als den unten benannten Quellgruppen liegen keine Erkenntnisse vor.

4.2.4.4.2 Methodische Aspekte (2.A.4.d)

Im Folgenden soll eine Übersicht des nationalen Kalksteineinsatzes gegeben werden (Quellgruppenverweise). Die Emissionsberechnungen erfolgen in den Quellgruppen, in denen CO_2-Emissionen aus der Kalksteinverwendung resultieren:

- 1.A.1.a Rauchgasentschwefelung von Kraftwerken (Kalksteineinsatz)
- 2.A.1 Zementklinkerherstellung (Kalksteinanteil in den Rohstoffen)
- 2.A.2 Kalkherstellung (Kalksteineinsatz)
- 2.A.3 Glasherstellung (Kalksteinanteil in den Rohstoffen)
- 2.A.4.a Keramische Produktion (Karbonatanteil in den Rohstoffen)
- 2.B.7 Sodaherstellung (Kalksteineinsatz)
- 2.C.1 Eisen- und Stahlherstellung (Kalksteineinsatz und Kalköfen)
- 2.H.2 Zuckerherstellung (Kalköfen)
- 3.G Land- und forstwirtschaftliche Bodenkalkung (Kalkstein und Dolomit)

Die Daten werden in den jeweils relevanten Quellgruppen aktualisiert (Aufstellung siehe oben), wobei auch die methodischen Aspekte in den jeweiligen Quellgruppenkapiteln erläutert werden

4.2.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.d)

Angaben zu den Unsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren der relevanten Kalksteinverwendungen werden in den jeweiligen Quellgruppenkapiteln gemacht.

4.2.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.d)

Die Aktivitätsdaten und die Emissionsfaktoren der relevanten Kalksteinverwendungen werden in den jeweiligen Kategorien verifiziert und aktualisiert.

4.2.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.d)

Rekalkulationen erfolgen in den jeweiligen Quellgruppen.

4.2.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.d)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3 Chemische Industrie (2.B)

Die Kategorie 2.B ist unterteilt in die Unterpunkte 2.B.1 bis 2.B.10. Hierzu gehören die Ammoniakproduktion (2.B.1), die Salpetersäureproduktion (2.B.2), die Adipinsäureproduktion (2.B.3), die Caprolactam-, Glyoxal- und Glyoxylsäureproduktion, (2.B.4), die Carbidproduktion (2.B.5), die Titandioxidproduktion (2.B.6), die Sodaherstellung (2.B.7), die Petrochemikalien- und Industrierußproduktion (2.B.8) und die Produktion von fluorierten Chemikalien (2.B.9).

In der Kategorie *Andere* (2.B.10) werden nur Vorläufersubstanzen aus der Produktion von Düngemitteln und Schwefelsäure berichtet. Die Produktion von 1,12-Dodecandisäure wird in

2.B.10 beschrieben, die prozessbedingten N_2O-Emissionen werden aber aus Vertraulichkeitsgründen mit unter 2.G.3 berichtet.

4.3.1 Chemische Industrie: Ammoniakproduktion (2.B.1)

4.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	2 B 1, Ammonia Production		CO2	6.025,0	0,5%	4.133,0	0,6%	-31,4%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 3	PS	PS
NO_X			D

Die Kategorie *Chemische Industrie: Ammoniakproduktion* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Herstellung von Ammoniak erfolgt auf Basis von Wasserstoff und Stickstoff unter Bildung von CO_2 nach dem Haber-Bosch-Verfahren. Wasserstoff wird in einem hochintegrierten Verfahren in einem *Steam-Reforming*-Prozess aus Synthesegas meist auf der Basis von Erdgas gewonnen, Stickstoff wird durch Luftzerlegung bereitgestellt.

Die verschiedenen Anlagenarten zur Herstellung von Ammoniak können aufgrund des hochintegrierten Charakters des Verfahrens nicht in einzelne Aggregate unterteilt und als Verfahrensteile getrennt voneinander verglichen werden. Beim *Steam Reforming* werden folgende Verfahren unterschieden:

- ACP - *Advanced Conventional Process* (weiterentwickeltes konventionelles Verfahren) mit einem befeuerten Primär-Reformer und sekundärer Reformierung mit Luftüberschuss (stöchiometrisches H/N-Verhältnis)
- RPR - *Reduced Primary Reformer Process* (Reduzierte primäre Reformierung) unter milden Bedingungen in einem befeuerten Primär-Reformer und sekundärer Spaltung mit Luftüberschuss (unterstöchiometrisches H/N-Verhältnis)
- HPR - *Heat Exchange Primary Reformer Process* (Primäre Reformierung mit Wärmeaustausch) autothermische Spaltung mit Wärmeaustausch unter Einsatz eines mit Prozessgas beheizten Dampfreformers (Wärmeaustausch-Reformer) und eines separaten Sekundärreformers oder eines kombinierten autothermischen Reformers und Verwendung von Überschussluft oder angereicherter Luft (unterstöchiometrisches oder stöchiometrisches H/N-Verhältnis).

Weiterhin ist folgendes Verfahren im Einsatz:

- Partielle Oxidation - Vergasung von Erdgas, Fraktionen schweren Mineralöls oder Vakuumreststoffen bei der Herstellung von Synthesegas.

Seit Mitte 2014 wird in Deutschland nur noch an vier Standorten Ammoniak produziert. Dabei werden sowohl der Steam-Reforming-Prozess als auch die partielle Oxidation verwendet.

Der Produktionsrückgang um mehr als 15 % (entspricht einer Menge von knapp 300 kt) im ersten Jahr nach der Wiedervereinigung beruhte auf einer Marktbereinigung, die zu über 2/3 zu Lasten der neuen Bundesländer ging. In den Folgejahren bis 1994 blieb das Produktionsniveau nahezu konstant. Der Grund für den Wiederzuwachs ab 1995 auf das Niveau von 1990 konnte nicht geklärt werden, er könnte aber darauf zurückzuführen sein, dass in den neuen Bundesländern nach umfangreichen Modernisierungsarbeiten die Produktionsprozesse wieder aufgenommen wurden. Nach 1995 unterliegt das Produktionsniveau nur kleineren

Schwankungen. Der Produktionsrückgang 2009 um fast 8 Prozent war bedingt durch die globale Wirtschaftskrise. Bis 2013 war der IEF im Vergleich zu anderen Ländern höher, da in Deutschland neben Erdgas auch Schweröl zur partiellen Oxidation eingesetzt wurde. Schweröl erzeugt aber deutlich höhere CO_2-Emissionen als Erdgas. Seit Mitte 2013 wird für die partielle Oxidation überwiegend Erdgas eingesetzt, außerdem wird eine größere Menge an CO_2 aufgefangen und weiter verarbeitet zu Harnstoff für den Einsatz als AdBlue und für den Einsatz als Düngemittel, so dass sich der IEF nicht mehr wesentlich von dem anderer Länder unterscheidet.

4.3.1.2 Methodische Aspekte (2.B.1)

Entsprechend der Einstufung als Hauptkategorie für die CO_2-Emissionen werden die Emissionsdaten aus dieser Kategorie seit der Berichterstattung 2010 nach Tier 3 erhoben und berichtet, mit Ausnahme einer Anlage die bis 2012 nach der Tier 2 Methode erhoben worden ist, da der Default Kohlenstoffgehalt verwendet wurde. Seit 2013 sind alle Anlagen nach dem Tier 3 Verfahren erhoben. Die Grundlage dazu bildet eine Kooperationsvereinbarung mit den Betreibern zur Lieferung anlagenspezifischer Daten.

Die Betreiber übersenden ihre anlagenspezifischen Daten an den Industrieverband Agrar (IVA). Dort werden diese aus Vertraulichkeitsgründen anonymisiert und dann anlagenspezifisch an das Umweltbundesamt übermittelt. Das Umweltbundesamt nimmt eine Qualitätssicherung vor und aggregiert anschließend die Daten

Die Anlagenbetreiber melden:

- die produzierte Menge Ammoniak (**Aktivitätsdaten**),
- die Menge des jeweils eingesetzten Rohstoffes (Erdgas, schweres Mineralöl) abzüglich des in der Energiebilanz gemeldeten energetisch genutzten Brennstoffes (TFR_i),
- dessen C-Faktor (CCF_i) und Kohlenstoffoxidationsfaktor (COF_i),
- die Menge und die Verwendungsart des weiterverarbeiteten CO_2 (R_{CO2}),

CO_2-Emissionen:

Die CO_2-Emissionen werden entsprechend der Gleichung 3.3 in den 2006 IPCC-Guidelines(IPCC, 2006b) berechnet:

$$E_{CO2} = \sum (TFR_i * CCF_i * COF_i * 44/12 - R_{CO2})$$

Die rückgewonnene Menge an CO_2, die bei anderen Produktionsprozessen wie z.B. zur Harnstoff-Produktion eingesetzt wird und dort auch berichtet wird, ist in den berichteten Emissionen nicht enthalten.

Seit 2013 unterliegen alle Ammoniakanlagen dem Emissionshandel, damit erfüllen auch alle Anlagen für die Ermittlung des Kohlenstoffgehalts die Anforderungen an den Emissionshandel.

Ein Produzent verwendet einen Standardfaktor, der sich aufgrund der laufenden Betriebsanalytik heraus gebildet hat (C-Gehalt = 86,1 % - Gewichtsbasis). Der zweite Produzent verwendete für Erdgas bis 2013 den IPCC-Default Value, für die Restgase wurde der C-Gehalt analytisch ermittelt, der C-Gehalt des eingesetzten Gasgemischs wurde mengengewichtet aus den C-Gehalten der einzelnen Einsatzstoffe errechnet. In zwei Fällen werden die Daten, die der Erdgaslieferant zur Verfügung stellt verwendet.

Emissionsfaktor für NO_x:

Für den Emissionsfaktor von NO_X wurde der Default-Emissionsfaktor des *CORINAIR Guidebooks* von 1 kg/t HNO_3 verwendet (EMEP (2009): EMEP EEA Emission Inventory Guidebook, TFEIP-endorsed draft, May 2009).

4.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.1)

Die von den Betreibern übermittelten Unsicherheiten werden vom UBA entsprechend der Gleichung 3.2 (IPCC (2006b): Vol. 1, Ch. 3) aggregiert und eingetragen.

Die Unsicherheit für die Aktivitätsrate beträgt ± 0,6 %. Die Unsicherheit für die Emissionen beträgt ± 1 %.

4.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.1)

Rückrechnungen sind nicht durchgeführt worden.

4.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.2 Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion (2.B.2)

4.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	2 B 2, Nitric Acid Production		N_2O	3.257,5	0,3%	377,8	0,1%	-88,4%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
N_2O	Tier 3	PS	PS

Die Kategorie *Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion* ist für N_2O-Emissionen eine Hauptkategorie nach Emissionshöhe und Trend.

Bei der Produktion von Salpetersäure entsteht in einer Nebenreaktion Distickstoffoxid. In Deutschland gibt es derzeit insgesamt neun Anlagen zur Herstellung von Salpetersäure.

Die Herstellung von HNO_3 erfolgt in zwei Verfahrensschritten:

- **Oxidation** von NH_3 zu NO und
- **Umwandlung** von NO in NO_2 und **Absorption** in H_2O.

Einzelheiten des Verfahrens werden nachstehend beschrieben:

Katalytische Oxidation von Ammoniak

Ein Ammoniak-Luft-Gemisch im Verhältnis von 1:9 wird in Gegenwart eines mit Rhodium und/oder Palladium legierten Platin-Katalysators bei einer Temperatur zwischen 800 und 950 °C oxidiert. Die entsprechende Reaktion nach dem Ostwald-Verfahren ist wie folgt:

$$4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow 4\ NO + 6\ H_2O$$

Gleichzeit werden durch folgende unerwünschte Nebenreaktionen Stickstoff, Distickstoffoxid und Wasser gebildet:

$$4\ NH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ N_2 + 6\ H_2O$$

$$4\,NH_3 + 4\,O_2 \rightarrow 2\,N_2O + 6\,H_2O$$

Alle drei Oxidationsreaktionen sind exotherm. Die Wärme kann zurückgewonnen werden und zur Erzeugung von Dampf für den Prozess bzw. zur Abgabe an andere Betriebe und/oder zur Vorwärmung der Restgase genutzt werden. Das Reaktionswasser wird während der Abkühlung der Reaktionsgase in einem Kühlkondensator kondensiert und in die Absorptionssäule überführt.

4.3.2.2 Methodische Aspekte (2.B 2)

Die Salpetersäureproduktion wird entsprechend den 2006 IPCC-Guidelines (IPCC, 2006b) anlagenspezifisch nach Tier 3 berichtet. Die Grundlage dazu bildet eine Kooperationsvereinbarung mit den Betreibern zur Lieferung anlagenspezifischer Daten. Bis einschließlich der Berichtsrunde 2014 übersandten sechs Betreiber die Daten an den Industrieverband Agrar (IVA). Nach einer Qualitätssicherung aggregierte der IVA aus Vertraulichkeitsgründen die Daten und übermittelte die aggregierten Daten (AR und EF) an das UBA. Zwei Firmen übermittelte ihre Daten (AR, EF, N_2O-Emissionen und evtl. eingesetzte Minderungstechnik) direkt an das Umweltbundesamt, dort wurden diese nach einer Qualitätsprüfung mit den Daten vom IVA aggregiert und in der Emissionsdatenbank ZSE dokumentiert.

Die Kooperationsvereinbarung wurde für die neue Verpflichtungsperiode und die neuen 2006 IPCC Guidelines angepasst. Das UBA erhält jetzt in anonymisierter Form für sechs Betriebe mit sieben Anlagen die anlagenspezifischen Daten über den IVA. Zwei weitere Betreiber schicken ihre Daten direkt an das Umweltbundesamt.

Die Anlagenbetreiber melden:

- die produzierte Menge Salpetersäure (**Aktivitätsdaten**),
- den EF,
- die gemessenen N_2O-Emissionen am Rohgas,
- bei Einsatz von Minderungstechniken auch die gemessenen N_2O-Emissionen am geminderten Abgas.
- Die Unsicherheiten für die Aktivitätsrate, den Emissionsfaktor und die geminderten Emissionen.

Als Minderungstechnik kommt die selektive katalytische Reduktion (SCR) und Envinox Technologie zum Einsatz. Die Technologie führt zu einer Reduktion der N_2O Emissionen von über 99%. Durch die katalytische Zersetzung werden N_2O und NH_3 Emissionen reduziert. Eine Anlage hat zusätzlich eine zweite sekundäre Abgasbehandlung (SCR) nachgerüstet.

Bis 2006 korreliert die Produktionsmenge mit den N_2O-Emissionen. Danach ist eine deutliche Entkopplung von Produktionsmenge und N_2O-Emissionen erkennbar, dies ist auf den zunehmenden Einsatz von Minderungstechniken zurückzuführen. Im Jahr 2017 wurde der Katalysator einer Anlage ausgetauscht. Die Auswirkung ist im Jahr 2018 mit einem reduzierten EF zu erkennen.

NO_X-Emissionsfaktor:

Für den Emissionsfaktor von NO_X wurden die T2-Default-Emissionsfaktoren des *CORINAIR Guidebooks* verwendet (EMEP (2009): EMEP EEA Emission Inventory Guidebook, TFEIP-endorsed draft, May 2009). Dabei wurden entsprechend der zeitlichen Entwicklung und der Technik die entsprechenden Emissionsfaktoren mit und ohne Abgasbehandlung berücksichtigt. Für mehr Details bitte im Informative Inventory Report (IIR) nachlesen.

4.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.2)

Aktivitätsrate:

Die von den Betreibern übermittelte Unsicherheit für die Aktivitätsrate wurde vom UBA entsprechend der Gleichung 3.2 (IPCC (2006b), Vol. 1, Ch. 3) festgelegt. Die Unsicherheit beträgt ± 1 %.

Emissionsfaktor:

Für den N_2O-Emissionsfaktor wird von den Betreibern eine Unsicherheit von ± 5 % angegeben.

4.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.2)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.2)

Rückrechnungen sind nicht durchgeführt worden.

4.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.3 Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion (2.B.3)

4.3.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	2 B 3, Adipic Acid Production		N_2O	18.076,7	1,4%	189,1	0,0%	-99,0%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
N_2O	Tier 3	PS	PS
NO_x, CO	Tier 3	PS	PS

Die Kategorie *Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion* ist für N_2O-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Im technischen Maßstab wird Adipinsäure durch Oxidation eines Gemisches von Cyclohexanol und Cyclohexanon mit Salpetersäure hergestellt. Bei dieser Reaktion werden erhebliche Mengen an Lachgas (N_2O) gebildet.

Dies wurde bis Ende 1993 von den beiden alleinigen deutschen Herstellern vollständig in die Atmosphäre emittiert. Ein Hersteller hat seitdem eine Anlage zur thermischen Zersetzung von Lachgas in Stickstoff und Sauerstoff in Betrieb. Die Zersetzung erfolgt nahezu vollständig. 2009 kam eine zweite, zusätzliche (redundante) thermische N_2O-Zersetzungsanlage hinzu. Es werden N_2O-Zersetzungsraten von über 99% erreicht.

Ende 1997 nahm der andere Hersteller eine katalytische N_2O-Zersetzung in Betrieb, die bei Dauerbetrieb eine N_2O-Zersetzungsrate von 97-98 % erreicht. Ende 2009 kam ein zweiter, redundanter Zersetzungsreaktor hinzu.

Durch die Installation der zwei redundanten Abgasbehandlungsanlagen bei den beiden Herstellern haben sich die N_2O-Emissionen seit 2010 noch einmal deutlich reduziert.

Im März 2002 nahm ein dritter Hersteller mit einer Anlage die Produktion auf. Die Anlage wird ebenfalls mit einer thermischen N_2O-Zersetzung betrieben. Dieser Hersteller hat seit 2013 die Möglichkeit bei Ausfall der Minderungsanlage eine redundante Minderungsanlage zu nutzen. Es können N_2O-Zersetzungsraten von über 99% erreicht werden.

Die insgesamt schwankenden Abbauraten und somit auch die Restemissionen resultieren aus Funktionsbeeinträchtigungen und geplanten Unterbrechungen der Minderungsanlagen und unterschiedlichen Produktionsvolumina.

Die Produktion hat sich nachfragebedingt im Zeitraum von 1990 bis heute nahezu verdoppelt.

4.3.3.2 Methodische Aspekte (2.B.3)

Die Berechnung der N_2O-Emissionen aus der Adipinsäureproduktion basiert seit 1990 auf anlagenbezogenen Daten.

In den Jahren in denen keine Lachgasminderungstechnik installiert war wurden von den beiden Herstellern nur die Produktionsmengen zur Verfügung gestellt. Für die Berechnung der Lachgasemissionen wurde für diesen Zeitraum der IPCC Default-Emissionsfaktor verwendet und zwar bis 1994 für die eine Anlage und bis 1997 für die andere Anlage. Die Berechnung der N_2O-Emissionen entspricht in diesen Jahren dem Tier 2 Ansatz. Für den anschließenden Zeitraum wurden von den beiden Herstellern die Lachgasemissionen kontinuierlich gemessen und neben den Produktionsangaben und den N_2O-Emissionen auch für die Abschätzung der Genauigkeit der berichteten Daten notwendige Hintergrundinformationen vertraulich mitgeteilt. Der dritte Hersteller misst seit 2013 kontinuierlich. In dem Zeitraum davor berechnete er die in zwei möglichen Anlagenzuständen (ungeminderter und geminderter Betrieb) emittierten Lachgasmengen mittels hergestellter Adipinsäuremenge und einem Emissionsfaktor. Dabei wurde die Nutzungsdauer des jeweiligen Anlagenzustandes und die Anlagenlast berücksichtigt. Für die beiden Betriebszustände wurde jeweils ein Emissionsfaktor aus produzierter Adipinsäuremenge und Lachgaskonzentrationsmessung bestimmt.

Die Bestimmung der N_2O-Emissionen mit kontinuierlicher Lachgasmessung entspricht der Tier 3-Methode der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC (2006b): Vol. 3, Ch. 3.4.2.1).

4.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.3)

Für Anlagen mit thermischer Zersetzung werden nach 2006 IPCC GL (IPCC (2006b): Vol. 3, Tab. 3.4) Unsicherheiten für die N_2O-Zersetzungsrate von +/- 0,5% und für die katalytische Zersetzung von +/- 2,5% angegeben.

Nach Angaben der Hersteller liegen die Unsicherheiten der Emissionen unabhängig von dem Minderungsverfahren in einem Bereich von etwa +/-1 bis 6%. Die Unsicherheiten für die Produktionsmengen werden mit <0,1% bis etwa 1% beziffert. Der EF wird daher mit einer Unsicherheit von 6 % und die Produktionsmengen von 2% angesetzt.

Neuberechnungen der Emissionen des dritten Herstellers rückwirkend bis zum Jahr 2002 erfolgten nach Änderungen der Erhebungsmethodik nicht, weil durch die zeitgleiche Inbetriebnahme der redundanten Minderungsanlage Emissionswerte nicht vergleichbar sind.

4.3.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.3)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Angaben der Hersteller unterliegen einem hohen Vertrauensschutz. Aus diesem Grund können in den CRF-Tabellen lediglich die Emissionsangaben ausgewiesen werden. Die berichteten Emissionen und Aktivitätsraten werden durch den Experten im UBA überprüft und mit anderen Datenquellen verglichen.

Ein Vergleich des IEF mit dem anderer Länder ist nur beschränkt möglich, weil nur Italien und die USA durchgängig einen Emissionsfaktor für N_2O berichten. Der niedrigere der beiden IEFs ist mit dem nationalen Emissionsfaktor vergleichbar. Ein Vergleich mit Daten aus dem PRTR ist für die Kategorie nicht möglich.

Zwei der drei Hersteller haben jeweils ein JI-Projekt durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Projekte sind unter den Projekt-IDs DE-1000017 und DE-1000018 in der JI-und CDM-Projektdatenbank[62] der Deutschen Emissionshandelsstelle abrufbar. Die Inventardaten wurden mit den Angaben der Projekte für den Zeitraum 2008 bis 2012 verglichen und konnten durch diese bestätigt werden.

Die Emissionsdaten von 2013 bis 2019 wurden mit den ETS-Daten abgeglichen. Es gibt eine gute Übereinstimmung.

4.3.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.3)

Rückrechnungen sind nicht durchgeführt worden.

4.3.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.4 Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure (2.B.4)

4.3.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.4)

Die Kategorie *Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure* ist keine Hauptkategorie.

ε-Caprolactam ist das technisch bedeutendste Lactam und wird hauptsächlich zur Herstellung von PA 6 eingesetzt. In Deutschland gibt es zwei Hersteller.

Glyoxal wird zur Herstellung einer Vielzahl von Produkten zur Verbesserung der Eigenschaften eingesetzt. Es gibt einen Produzenten. Das von ihm für die Herstellung von Glyoxal angewendete Verfahren (Oxidation von Ethylenglykol in der Gasphase) ist keine Quelle für prozessbedingte Lachgasemissionen.

Nach Aussage des Glyoxalherstellers wird kein an Kunden in Deutschland geliefertes Glyoxal zu Glyoxylsäure verarbeitet. Eine Produktion von Glyoxylsäure aus anderen Ausgangsstoffen in Deutschland ist nicht bekannt.

[62] siehe: https://www.jicdm.dehst.de/promechg/pages/project1.aspx

4.3.4.2 Methodische Aspekte (2.B.4)

Caprolactam

Beide Hersteller nutzen den Syntheseweg über das Hydroxylammoniumsulfat (HAS), für dessen Herstellung Ammoniak oxidiert wird. Die Ammoniakoxidation ist im Herstellungsprozess hauptursächlich für die N_2O-Emissionen.

Auch setzen beide Hersteller eine thermische Abgasbehandlung zur Lachgaszerstörung ein, die jeweils redundant ausgelegt ist. Die Temperaturen liegen weit oberhalb der Zersetzungstemperatur von Lachgas, so dass Emissionen standardmäßig nur in sehr geringen Mengen auftreten.

Für einen der beiden Hersteller werden aus Konsistenzgründen mit dem Emissionshandel die N_2O-Emissionen der Salpetersäureproduktion (2.B.2) zugeordnet. Die Berichterstattung erfolgt nach einer Tier 3-Methode. Für diese Anlage wird darum in der CRF-Tabelle unter 2.B.4a die Notation IE gewählt.

Für die Anlage des anderen Herstellers liegen der Nationalen Koordinierungsstelle detaillierte Informationen vor, nach denen eine vollständige Eliminierung der Lachgasmengen durch die thermische Nachverbrennungseinrichtung angenommen werden kann. Da aber für den Anlagenbetreiber keine Messverpflichtungen bestehen und um eine Untererfassung der Lachgasemissionen durch andere Emissionsquellen vorzubeugen, werden die N_2O-Emissionen einmalig quantitativ nach einer Tier 2-Methode abgeschätzt. Für die Abschätzung werden eine Produktionskapazität aus Presseberichten[63] abgeleitet und aus den 2006 IPCC-RL der N_2O-Standardemissionsfaktor für die Herstellung von Caprolactam (9 kg N_2O/t Caprolactam, gemäß IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 3.5, Tabelle 3.5) und Standardfaktoren für die thermische Abgasbehandlung bei der Adipinsäureproduktion (98,5 % Minderungsrate und 99,91 % Auslastung, gemäß IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 3.4, Tabelle 3.4) genutzt. Der Auslastungsfaktor für das redundant ausgelegte Abgasbehandlungssystems ergibt sich aus dem Standardauslastungsfaktor von 97% für die Hauptanlage und 97% Auslastung der zweiten Anlage, die in den 3% zum Tragen kommt, in denen die Hauptanlage nicht eingesetzt werden kann. Deutschland folgt mit der Verwendung von Standardfaktoren aus den IPCC-RL der Empfehlung des Expert Review Teams des In-Country-Review 2016. Für das Jahr 2015 ergibt die Abschätzung eine Menge von 10,7 kt CO_2-Äquivalente für diese Anlage. Aufgrund der Höhe der Emissionen wurde die Zulässigkeit einer reduzierten Emissionsberichterstattung gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37(b) geprüft. Dazu wurden auch die N2O-Emissionen der anderen Anlagen mittels Standardemissionsfaktoren und Produktionskapazität berechnet. Für beide Anlagen zusammen ergeben sich 17,9 kt CO_2-Äquivalente. Da somit die berechneten N_2O-Emissionen aus der Kategorie weniger als 0.05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) darstellen und 500 kt CO_2-Äquivalente nicht überschreiten und eine jährliche Erfassung nicht durchgeführt werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37), wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet (IPCC (2006b): Vol. 3, Ch. 3.5). Eine Zusammenstellung aller als ‚not estimated' erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 21 dieses Berichtes. Die beiden Anlagen werden unter 2.B.4.a in der CRF-Tabelle durch die Notation IE, NE abgebildet. Die Notation steht im Einklang mit den Hinweisen und Empfehlungen des In-Country-Reviews.

[63] u.a. BASF Presse-Information P293/16 - BASF richtet Caprolactam-Produktion in Europa neu aus https://www.basf.com/documents/corp/de/news-and-media/news-releases/2016/09/P293_Neuausrichtung_Caprolactam_Produktion_Europa.pdf (Aufruf 25.10.2017)

4.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.4)

Für die Aktivitätsrate wird eine Unsicherheit von ± 30% angenommen und für die Standardfaktoren gelten die entsprechenden Unsicherheiten der 2006 IPCC-GL (IPCC, 2006b).

4.3.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.4)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wurde für diese Berichterstattung keine QK/QS durchgeführt.

Es können für die Verifikation der Herstellerangaben in den Presseberichten nur wenige Quellen genutzt werden. Für die Jahre 1995 bis 2008 stehen Produktionsmengen an ε-Caprolactam zur Verfügung Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1), Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe). Aufgrund von Anpassungen an internationale Klassifizierungen werden aber seit 2009 keine Produktionsmengen an ε-Caprolactam mehr einzeln ausgewiesen, so dasseine statistische Erhebung der Produktionsmengen an ε-Caprolactam seitdem nicht mehr möglich ist.. In der Außenhandelsstatistik wird ε-Caprolactam weiterhin einzeln ausgewiesen. Es stehen Importmengen seit 1996 und Exportmengen seit 2009 zur Verfügung. Die Import- und Exportmengen sind relativ stabil.

4.3.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.4)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.5 Chemische Industrie: Carbidproduktion (2.B.5)

4.3.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.5)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 B 5, Carbide Production		CO2	443,2	0,0%	4,5	0,0%	-99,0%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 3	PS	PS (CaC2) NO (SiC)

Die Kategorie *Chemische Industrie: Carbidproduktion* ist keine Hauptkategorie.

Die Calciumcarbidproduktion fand zu Zeiten der Wiedervereinigung überwiegend in den neuen Bundesländern statt. Nachdem dort die Produktion kurze Zeit später eingestellt worden ist, verblieb nur in den alten Bundesländern ein Hersteller von Calciumcarbid. Nach Auskunft des zuständigen Fachverbands im VCI wird in Deutschland seit 1993 kein Siliziumcarbid mehr hergestellt. Emissionen aus diesem Bereich treten daher nicht mehr auf.

4.3.5.2 Methodische Aspekte (2.B.5)

Aktivitätsrate:

Da es nur einen Hersteller in Deutschland gibt müssen diese Daten vertraulich behandelt werden. Die Daten werden jährlich vom Hersteller dem Umweltbundesamt direkt mitgeteilt. Sie stammen ab 1997 aus der Ökobilanz bzw. aus den jährlichen Umwelterklärungen nach EMAS (der Betrieb ist zertifiziert seit 1997). Lediglich die Produktionsmengen in der ehemaligen DDR

wurden vom damaligen Statistischen Zentralamt bis 1989 veröffentlicht. Diese Angabe wurde zusammen mit vorhandenen Schätzungen für 1991 und 1992 für die Interpolation der Produktion in den neuen Bundesländern im Jahr 1990 verwendet.

Emissionsfaktor:

Der stöchiometrische Emissionsfaktor für CO_2 ist 688 kg pro t Calciumcarbid (44 g mol^{-1} / 64 g mol^{-1}). Dieser Emissionsfaktor wurde bis 1992 für die Produktion in den neuen Bundesländern verwendet.

Beim Hersteller wird das im Prozess entstehende Kohlenmonoxid in gedeckelten Öfen vollständig gefasst und anschließend einer energetischen Nutzung zugeführt. Das dadurch entstehende Kohlendioxid dient als Hilfsstoff bei der Produktion von Kalkstickstoff und Folgeprodukten. Das Kohlendioxid fällt bei diesen Prozessen nach der Reaktion mineralisch in Form von Schwarzkalk an. In dieser Form wird es einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. 2012 wurde die Fahrweise der Carbidöfen vergleichmäßigt, so dass deutlich weniger Überschuss-Ofengas abgefackelt werden musste. Zusätzlich ist nach dieser Fahrweise der Ofenbetrieb ´ruhiger´, das heißt, dass es weniger Druckstöße gibt, die über die Rohgasfackeln auszugleichen sind. Der Emissionsfaktor enthält auch die CO_2-Emissionen aus dem Fackeleinsatz.

Auf diese Weise wird für die Produktion ein wesentlich geringerer Emissionsfaktor für Kohlendioxid aus der Calciumcarbidherstellung erreicht als in den Vorjahren.

Die Gesamtemissionen sowie die Produktionsmenge werden vom Hersteller auf Anfrage dem Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt. Der Emissionsfaktor ergibt sich als Quotient von Emissionsmenge zu Aktivitätsrate.

4.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.5)

Die Unsicherheiten bezüglich der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Daten werden als insgesamt gering eingeschätzt.

4.3.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.5)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Angaben von Herstellern unterliegen einem hohen Vertrauensschutz. Aus diesem Grund können in den CRF-Tabellen lediglich die Emissionsangaben ausgewiesen werden. Verifizierende Berechnungen konnten nicht durchgeführt werden. Es kann aber darauf hingewiesen werden, dass die Angaben teilweise auch den Genehmigungsbehörden zur Verfügung gestellt worden sind und somit für vertrauenswürdig erachtet werden.

4.3.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.5)

Es wurden keine Rekalkulationen durchgeführt.

4.3.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.5)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.6 Chemische Industrie: Titandioxid-Produktion (2.B.6)

In Deutschland gibt es mehrere Produzenten von Titandioxid. Eine Anlage davon produziert Titandioxid nach dem Chlorid-Verfahren. Die Anderen produzieren nach dem Sulfat-Verfahren und emittieren kein prozessbedingtes CO_2. Die Abschätzung der CO_2-Emissionen erfolgte als Expertenschätzung. Grundlage war die Produktionskapazität und ein Emissionsfaktor basierend auf einer Expertenschätzung. Die Abschätzung erfolgte aufgrund von vertraulichen Daten, die hier deshalb nicht dargestellt werden können.

Da die Treibhausgas-Emissionen aus der Kategorie Titandioxidproduktion weniger als 0.05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) darstellen *und* 500 kt CO_2-Äquivalente nicht überschreiten würden (Erfassungsuntergrenzen gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1) und eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37), wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet (IPCC (2006b): Vol. 3, Ch. 3.7). Eine Zusammenstellung aller als „not estimated" erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 21 dieses Berichtes.

4.3.7 Chemische Industrie: Soda-Herstellung (2.B.7)

4.3.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.7)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 B 7, Soda Ash Production		CO_2	667,2	0,1%	361,0	0,1%	-45,9%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1	NS	CS

Die Kategorie *Soda-Herstellung* ist keine Hauptkategorie.

Soda wird in Deutschland nur auf chemischem Weg hergestellt. Es gibt 3 Produktionsanlagen, die den Solvay-Prozess[64] einsetzen[65]. Das im eingesetzten Kalciumkarbonat enthaltene CO_2 wird prinzipiell im Produkt Soda (Na_2CO_3) eingebunden und erst in der Anwendung gegebenenfalls freigesetzt (siehe Kategorie 2.A.4.b in Kapitel 4.2.4.2). Da die Produktion nach dem Solvay-Verfahren jedoch mit CO_2-Überschuss abläuft, ergeben sich prozessbedingte CO_2-Emissionen.

Im Kalzinierungsschritt wird zusätzlich Koks/ Anthrazit eingesetzt, so dass weitere (energiebedingte) Kohlendioxidemissionen entstehen.

4.3.7.2 Methodische Aspekte (2.B.7)

Aktivitätsdaten

Die Gesamtsumme an in Deutschland produziertem Soda wird vom *Statistischen Bundesamt* erhoben. Von 1995 bis 2008 wurden die Kategorien *leichtes Soda* (Produktionsnummer 2413 33 103 Dinatriumcarbonat in Pulverform mit einer Schüttdichte von weniger als 700 g/l) und *schweres Soda* (Produktionsnummer 2413 33 109 Anderes Dinatriumcarbonat) getrennt ausgewiesen. Seit 2009 werden leichtes und schweres Soda in einer Position (Meldenummer 2013 43 100) zusammengefasst dargestellt. Es wird nur der „zum Absatz bestimmte" Teil berücksichtigt. Auf diese Weise wird eine Doppelzählung vermieden, da schweres Soda aus leichtem Soda hergestellt wird. Da es nur zwei Hersteller in Deutschland gibt, muss die Produktionsmenge aus der amtlichen Statistik vertraulich behandelt werden.

[64] Ammoniak-Soda-Verfahren nach Ernst Solvay

[65] Weitere, von der Produktionsmenge weniger bedeutendere Verfahren sind nicht betrachtet, weil Kohlendioxid aus anderen Quellen als Kalkstein zum Einsatz kommt.

Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor wird berechnet aus den Kohlendioxidemissionen entsprechend der ETS-CO_2-Bilanz und aus der Produktionsmenge. Da die Produktionsmenge aus der amtlichen Statistik vertraulich behandelt werden muss, kann auch der EF hier nicht benannt werden.

Die beim Brennen des Kalks eingesetzte Menge an Koks ist in der Energiebilanz als nicht energetischer Einsatz berücksichtigt (also ohne CO_2-Emissionen).

4.3.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.7)

Aktivitätsdaten

Unsicherheiten bestehen bezüglich der vom Statistischen Bundesamt angegebenen Produktionsmengen, da z. B. die Relation von leichtem und schwerem Soda insbesondere in den ersten Jahren der getrennten Angaben stark schwankt.

Die Unsicherheit der statistischen Angabe wird auch von den Herstellern bestätigt, was im Einklang mit Meldungen im Rahmen des EU-ETS steht.

Emissionsfaktor

Die Unsicherheit des Emissionsfaktors hinsichtlich der Produktion von Soda wird berechnet aus den Unsicherheiten der Emissionsbilanz des ETS und den Unsicherheiten der Produktionsdaten.

4.3.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.7)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die CO_2-Bilanz zur Ermittlung der Emissionen wird mit Daten aus dem Emissionshandel ermittelt. Diese Daten wurden im Rahmen des ETS vollumfänglich geprüft und verifiziert.

Die Produktionsdaten unterliegen aktuell der Evaluierung durch die Hersteller, mit denen Kooperationssvereinbarungen angestrebt werden.

4.3.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.7)

Rückrechnungen sind nicht notwendig.

4.3.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.7)

Verbesserungen in der Datenqualität sind mit den angestrebten Herstellervereinbarungen geplant, wobei noch nicht bekannt ist, ob es zu signifikanten Auswirkungen auf die Emissionshöhe kommen kann.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.8 Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO_2	974,0	0,1%	792,9	0,1%	-18,6%
-/-	2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH_4	333,7	0,0%	503,4	0,1%	50,9%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2 (Industrieruß) CS (Petrochemie)	NS	D (Industrieruß) CS (Petrochemie)
CH_4	Tier 1	NS	D
CO, SO_2	Tier 1 (Industrieruß)	NS	D (Industrieruß)
NMVOC	Tier 1 (Petrochemie)	NS	C & CS (Petrochemie)

Die Kategorie *Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion* ist keine Hauptkategorie. Die Industrieruß-Produktion dominiert mit ca. 75 % Anteil die Emissionen dieser Kategorie.

4.3.8.1 Chemische Industrie: Petrochemie (2.B.8 Petrochemie)

4.3.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Petrochemie)

In der Petrochemie werden aus Erdgas und Fraktionen des Erdöls organische Grundchemikalien hergestellt, die zu einer Vielzahl an Zwischen- und Endprodukten (hauptsächlich Polymere) weiterverarbeitet werden. In den 2006 IPCC Richtlinien (IPCC, 2006b) werden unter 2.B.8 die Produktion der Grundchemikalien (a) Methanol, (b) Ethylen, (c) Ethylendichlorid und Vinylchlorid, (d) Ethylenoxid und (e) Acrylnitril aufgrund ihrer potentiellen Kohlendioxid- und Methan-Emissionen hervorgehoben.

Die Herstellung von Petrochemikalien und Derivaten ist neben Pharmazeutika, Fein- und Spezialchemikalien sowie Polymeren eine der wichtigsten Sparten der chemisch-pharmazeutischen Industrie gemessen am Produktionswert[66].

4.3.8.1.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Petrochemie)

Aktivitätsraten

Für die Herstellung o.g. Produkte stehen keine anlagenbezogenen Produktionsmengen zur Verfügung, sondern nur national zusammengefasste Produktionsmengen. Sie werden vom Statistischen Bundesamt ab dem Jahr 1990 auf Grundlage der „Fachserie 4, Reihe 3.1, Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe“ (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1) dem Umweltbundesamt auch mit vertraulichen Daten zur Verfügung gestellt.

In der amtlichen Produktionsstatistik werden Petrochemikalien und Derivate als sonstige organische Grundstoffe und Chemikalien unter der WZ-Nummer 20.14 ausgewiesen.

Das Produktionsvolumen von Acrylnitril unterliegt der Vertraulichkeit, von Methanol und Ethylendichlorid in bestimmten Jahren. Aus diesem Grund werden alle Produktionsmengen für die Produkte a) bis e) aggregiert und zusammen mit den zugehörigen CO_2-und CH_4- Emissionen unter 2.B.8.g berichtet.

Für die Bestimmung der NMVOC-Emissionen wird neben der Herstellung der zuvor genannten Produkte a) bis e) auch die Herstellung weiterer Produkte mit erfasst, die unter der Genfer Luftreinhaltekonvention berichtet werden müssen. Eine detaillierte Berichterstattung darüber erfolgt im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention im Informative Inventory Report (IIR).

[66] Chemiewirtschaft in Zahlen 2016, Verband der Chemischen Industrie e.V. (2017): https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/chemiewirtschaft-in-zahlen.jsp

CO_2 - Emissionsfaktoren

Seit dem Jahr 2013 unterliegen alle deutschen Anlagen zur Herstellung oben genannter organischer Grundchemikalien nach Anhang 1 Teil 2 Tätigkeit Nr. 27 TEHG dem Emissionshandel (ETS), weil ihre Produktionsleistung höher als 100 t/d (36.500 t/a) ist.

Ein Vergleich der für den Treibhausgas-Emissionshandel gemeldeten CO2-Gesamtemissionen der ETS-Anlagen nach a) bis e) mit den unter Verwendung der neuen IPCC-Standardemissionsfaktoren berechneten CO2–Emissionen für das Jahr 2013 zeigt, dass die Standardemissionsfaktoren zu höheren Emissionen führen. Und das, obwohl die anlagenbezogenen Gesamtemissionen aus dem Emissionshandel sowohl Emissionen aus Verbrennungsprozessen als auch sonstige prozessbedingte Emissionen enthalten. Im deutschen Treibhausgasinventar werden verbrennungsbedingte Emissionen größtenteils schon über die Energiestatistik im Energiesektor berücksichtigt. Daher können die Standardemissionsfaktoren nicht genutzt werden; andernfalls würde es zu einer Doppelzählung kommen.

Als Emissionsquellen für CO_2 kommen neben den Verbrennungsprozessen in Kesseln und Spaltöfen noch Verbrennungsprozesse in Fackeln, durch Entkokung und sonstige prozessbedingten Emissionen in Betracht.

Eine Quantifizierung der sonstigen prozessbedingten Emissionen ist nicht gerechtfertigt: denn bei Steamcrackern als der mit Abstand größten hier betrachteten Emittentengruppe stammen die anlagenbezogenen CO_2-Emissionen fast ausschließlich aus der Verbrennung in Spaltöfen, Hilfskesseln oder Fackeln. Diese verbrennungsbedingten Emissionen werden bis auf Fackeln in der Petrochemie schon im Energiesektor unter 1.A.2.c erfasst.

Um dem Ziel der möglichst vollständigen Erfassung der Emissionen im Inventar nachzukommen, werden aber die CO_2-Emissionen aus Fackelverlusten quantifiziert. Dabei sollen zukünftig auch Entkokungsprozesse miterfasst werden. Es wird nur der Anteil an Fackelgasen betrachtet, der den oben genannten Produkten a) bis e) zugeordnet werden kann.

Da nicht für alle vorgenannten Produkte Daten aus dem ETS vor 2013 zur Verfügung stehen, erfolgt die Berechnung der CO_2-Emissionen auf Basis eines für 2013 hergeleiteten CO_2-Emissionsfaktors und den jährlichen Produktionsmengen der jeweiligen Produkte.

Wegen der häufigen Weiterleitung von Restgasen und Fackelgasen zwischen Anlagen zur Herstellung verschiedener Produkte erscheint es sinnvoll, dafür einen über alle in dieser Quellgruppe betrachteten Produkte aggregierten Emissionsfaktor zu verwenden. Durch diese Aggregation werden auch Unsicherheiten bei der Zuordnung der Emissionen der oben angegebenen Herstellungsverfahren auf die unter a) bis e) genannten Produkte mit berücksichtigt, insbesondere weil CO_2-Emissionen aus Fackeln der o.a. Anlagen nicht zwangsläufig nur eines der Produkte a) bis e) betreffen. An Chemiestandorten werden abzufackelnde Gase aus verschiedenen Produktionsprozessen häufiger in einer zentralen Fackel verbrannt, die genehmigungs¬rechtlich nur einer bestimmten Produktionsanlage zugeordnet ist. Dadurch erhöht sich in solchen Fällen die dem Produkt zugeordnete Emissionsmenge gegenüber der eigentlichen durch die Produktherstellung verursachten Emissionsmenge. Andersherum können auch abzufackelnde Gase aus den Prozessen unter a) bis e) an eine Fackel in einer hier nicht betrachteten Anlage weitergeleitet werden, sodass die erfasste Emissionsmenge niedriger als die eigentliche produktbezogene Emissionsmenge ist.

Die für das Jahr 2013 den einzelnen Anlagen an Chemiestandorten zugeordneten Fackelemissionen (ETS-Daten) wurden aufsummiert und durch die Gesamtproduktionsmenge aller hergestellte Produkte a) bis e) in dem Jahr 2013 geteilt, um den Emissionsfaktor für Fackelverluste (EFFackel) zu bestimmen. Die Fackelemissionen der Steamcracker an

Raffinieriestandorten wurden über die bekannten Kapazitäten bestimmt. Der resultierende EFFackel für die oben genannten Petrochemikalien beträgt 28 kg/t Produkt. Mit diesem Emissionsfaktor werden nach einer Tier 1 Methode die jährlichen Emissionen rückwirkend bis 1990 berechnet.

CH_4 - Emissionsfaktoren

In den IPCC Guidelines werden alle oben genannten Anlagen als potentielle Emissionsquellen aufgeführt.

In deutschen Anlagen muss in den der TA Luft unterliegenden Anlagen gemäß Punkt 5.2.5 ein Grenzwert für die Massenkonzentration organischer Stoffe insgesamt (NMVOC und CH4, ausgenommen staubförmige organische Stoffe) von 50 mg/m^3 (Gesamtkohlenstoff) eingehalten werden. Die thermische Nachverbrennung (TNV) von flüchtigen organischen Stoffen aus Anlagen zur Herstellung organischer Grundchemikalien ist Stand der Technik.

Für Ethylen, Methanol, Ethylendichlorid und Styrol wurde von einem großen deutschen Hersteller gemeldet, dass in diesen Bereichen auf Grund der seit den achtziger Jahren eingesetzten thermischen Nachverbrennung Methanemissionen vernachlässigbar sind.

Zu Methanemissionen von Anlagen der chemischen Industrie können keine Angaben aus dem Emissionshandel genutzt werden, da nach dem aktuell gültigen TEHG von Juli 2011 CH4 nicht zu berichten ist. Da keine Angaben von weiteren Anlagenbetreibern zur Quantifizierung der CH4-Emissionen vorliegen, werden zur Berechnung der Methanemissionen für die Gesamtheit der Anlagen aus der petrochemischen Industrie die 2006 IPCC -Standardemissionsfaktoren (IPCC (2006b): Vol. 3, Ch. 3.9.2.2) in einer Tier 1 Methode verwendet.

NMVOC– Emissionsfaktoren

Die Angaben der EF für NMVOC wurden entweder dem entsprechenden BVT-Merkblatt entnommen oder stammen aus vertraulichen Angaben deutscher Hersteller. Bis 1994 wurden die Default Faktoren des EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook verwendet. Eine detaillierte Berichterstattung erfolgt unter der Genfer Luftreinhaltekonvention im Informative Inventory Report.

4.3.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Petrochemie)

CO_2

Die „Rückprojektion“ des oben angegebenen produktionsbezogenen Emissionsfaktors für Fackelverluste aus den Emissionsberichten 2013 auf frühere Jahre (bis 1990 zurück) ist mit hohen Unsicherheiten behaftet. Einerseits wurden die im ETS gemeldeten Fackelemissionen im Berichtsjahr 2013 häufig auf Basis von Schätzungen ermittelt und berichtet, andererseits muss davon ausgegangen werden, dass CO_2-Emissionen aus den Fackeln, die den betreffenden Anlagen genehmigungsrechtlich zugeordnet sind, nicht in vollem Umfang der Herstellung der betrachteten Produkte a) bis e) zuzuordnen sind. So werden mitunter auch Gase und Abgase aus anderen Produktionsprozessen in den hier betrachteten Fackeln verbrannt. Im Zeitverlauf können auch standortinterne Änderungen der Abgasführungen aus verschiedenen Prozessen auftreten, die die Unsicherheit der „rückwärtsberechneten“ produktspezifischen Emissionen weiter erhöhen. Hinzu kommt noch, dass sich das Verhältnis der Produktionsmengen zu den Fackelgasen für die betrachteten Anlagen in einzelnen Jahren deutlich von denen im Jahr 2013 unterscheiden kann.

Aufgrund der eingeschränkten Datenverfügbarkeit können Doppelzählungen im Energiesektor nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Auch die Extrapolation der Fackelemissionen der

Steamcracker trägt zur Unsicherheit des Emissionsfaktors bei. Es wird darum eine Unsicherheit von ± 50 % angenommen.

Die Zeitreihenkonsistenz ist sichergestellt, weil die Rückrechnung der Emissionen bis zum Jahr 1990 nach einer einheitlichen Methode durchgeführt wird und es keine Lücken bei den Aktivitätsdaten und keine Sprünge beim Emissionsfaktor gibt.

CH_4

Aufgrund der in den achtziger Jahren eingeführten thermischen Nachverbrennung dürften die punktförmigen Emissionen an organischen Stoffen aus deutschen Anlagen gering sein. Durch die Verwendung der Standardemissionsfaktoren kommt es wahrscheinlich zu einer Übererfassung an Emissionen. Da die daraus resultierenden Unsicherheiten aber nicht abgeschätzt werden können, werden die Unsicherheiten für die Tier 1 Methoden aus Tabelle 3.27 der 2006 IPCC-Richtlinien (IPCC (2006b): Vol. 3) verwendet.

Die Zeitreihenkonsistenz ist sichergestellt, weil die Rückrechnung der Emissionen bis zum Jahr 1990 nach einer einheitlichen Methode durchgeführt wird und es keine Lücken bei den Aktivitätsdaten und keine Sprünge bei den Emissionsfaktoren gibt.

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsraten stammen aus einer amtlichen Statistik, für die Ungenauigkeiten bei der statistischen Datenerfassung von ±20 zugrunde gelegt werden.

4.3.8.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Petrochemie)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die vom Statistischen Bundesamt gemeldete Produktionsmenge an Ethylen für 2013 wurde mit den Kapazitätsangaben der Association of Petrochemical Producers in Europe (APPE; Petrochemicals Europe[67]) verglichen. Der sich ergebende nationale Standardauslastungsfaktor von 0,858 ist vergleichbar mit dem Standardauslastungsfaktor gemäß Artikel 18 Absatz 2 des Beschlusses 2011/278/EU (European Commission, 2011).

Ein Vergleich des nationalen Emissionsfaktors für CO_2 mit den CO_2-Standardemissionsfaktoren der 2006 IPCC-Richtlinien und den Emissionsfaktoren der anderen Länder ist nicht möglich, weil die Emissionsfaktoren keine CO_2-Emissionen aus Fackeln enthalten.

Weitere Quellen zur Verifizierung der Daten stehen nicht zur Verfügung.

4.3.8.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Petrochemie)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Petrochemie)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

[67] Webseite: http://www.petrochemistry.eu

4.3.8.2 Chemische Industrie: Industrieruß-Produktion (2.B.8 Industrieruß)

4.3.8.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Industrieruß)

Industrieruße werden durch eine unvollständige Verbrennung von gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen hergestellt. Über eine gezielte Steuerung und Überwachung des jeweiligen Produktionsprozesses werden definierte Spezifikationen hergestellt. In Deutschland werden für die Industrieruß-Herstellung Steinkohleteeröle (Anthracen-Öle) oder Öle aus Erdölraffinerien (Pyrolyse- und Cracköle) eingesetzt.

90 % der Industrieruße werden in Deutschland nach dem Furnacerußverfahren hergestellt. Die restlichen 10 % werden mit dem Flammruß- und Gasrußverfahren produziert.

4.3.8.2.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Industrieruß)

CO_2 – Emissionen

Ein Vergleich der auf Grundlage von Produktionsdaten von Destatis ermittelten CO_2-Emissionen mit den bei der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) gemeldeten CO_2-Emissionen zeigte, dass bei der DEHSt deutlich weniger CO_2-Emissionen gemeldet sind. Auch die CO_2-Emissionen einer weiteren, nicht emissionshandelspflichtigen Anlage erklärten diesen Unterschied nicht. Recherchen bei dem bisherigen Datenlieferanten legten den Schluss nahe, dass in der verwendeten Produktionsstatistik teilweise anstelle von Produktionszahlen die Verkaufszahlen berichtet werden. Die bisher verwendete Aktivitätsrate war damit um ein deutliches zu hoch. Ab 2005 werden deshalb die Emissionsmengen der DEHSt verwendet und mit dem Default-Emissionsfaktor aus den IPCC-Guidelines 2006 (IPCC (2006b): Vol. 3, Table 3.23, Furnace Black Process (default process), primary feedstock) die Aktivitätsrate rückgerechnet. Die Emissionen einer nicht emissionshandelspflichtigen Anlage werden direkt von der Betreiberin an das UBA gemeldet. Eine (emissionshandelspflichtige) Anlage wurde 2016 stillgelegt. In Deutschland werden demnach noch fünf Anlagen von zwei Betreibern betrieben.

CH_4 – Emissionsfaktoren

In den internationalen Richtlinien wird nur sehr knapp auf diese Quellgruppe eingegangen. In den IPCC Guidelines wird als potentielle Emissionsquelle auch die Produktion von Industrieruß aufgeführt.

In deutschen Anlagen muss in den der TA Luft unterliegenden Anlagen gemäß Punkt 5.2.5 ein Grenzwert für die Massenkonzentration organischer Stoffe insgesamt (NMVOC und CH_4, ausgenommen staubförmige organische Stoffe) von 50 mg/m^3 (Gesamtkohlenstoff) eingehalten werden. Von den deutschen Herstellern von Industrieruß wird auf Grund dieses Sachverhalts ein Emissionsfaktor von 0,027 kg Methan pro t Industrieruß gemeldet. Da diese Technik bereits seit den siebziger Jahren im Einsatz ist, wird dieser EF zu 0,03 kg/t gerundet und auf die gesamte Zeitreihe angewandt.

NMVOC, CO und SO_2 – Emissionsfaktoren

In Deutschland wurden für sonstige Schadstoffe neben dem oben betrachteten Methan, die in der folgenden Tabelle aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Tabelle 179: In Deutschland verwendete Emissionsfaktoren für sonstige Schadstoffe

	Industrieruß [kg CO/t]	Industrieruß [kg SO_2/t][68]
1990	4,8/5	19,5/ ([69])
1991	4,6/5	19/20
1992	4,4/5	18,5/20
1993	4,2	18
1994	4	17,5
1995	3,75	17
1996	3,5	16
1997	3,25	15
1998	3	14
1999	2,9	13,4
2000	2,8	12,8
2001	2,7	12,54
2002	2,65	12,28
2003	2,6	12,0
2004	2,55	11,7
2005	2,5	11,5
2006	2,5	11,2
2007	2,5	10,9
2008	2,5	10,6
2009	2,5	10,3
ab 2010	2,5	10,0

Die Angaben der EF für CO und SO_2 bei der Herstellung von Industrieruß basieren auf dem BREF Large Volume Inorganic Chemicals - LVIC – S (European Commission, 2007b) und sind identisch mit den im CORINAIR-Handbuch 2008 (First Order Draft) dargestellten Default-Werten.

Aktivitätsraten

In der Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes werden die folgenden Produkte berücksichtigt (s. folgende Tabelle).

Tabelle 180: Meldenummern der Produktionsstatistik

Zeile	Industrieruß
bis 1994	4113 70
ab 1995 bis 2005	2413 11 300

Die Angabe für die Industrierußproduktion in den NBL 1990 entstammt dem statistischen Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland (Statistisches Bundesamt (1992): S. 234), für 1991 und 1992 wurden sie wegen Geheimhaltung geschätzt. Die übrigen Daten für die Industrierußproduktion ab 1990 entstammen dem Statistischen Bundesamt (Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1): Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe). Ab 2005 wird die Aktivitätsrate aus den CO_2-Emissionen rückgerechnet über den Default Emissionsfaktor von CO_2.

4.3.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Industrieruß)

Bei den Aktivitätsraten sind im Zeitablauf Schwankungen erkennbar, diese entsprechen aber im Wesentlichen den globalen wirtschaftlichen Schwankungen.

[68] Bei zwei angegeben EF bezieht sich der zweite Wert auf die neuen Bundesländer.

[69] Für die neuen Bundesländer wird kein EF ausgewiesen, da diese SO_2-Emissionen nur pauschal in einer Summe berücksichtigt werden konnten.

4.3.8.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Industrieruß)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.8.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Industrieruß)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.8.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Industrieruß)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.9 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF_6 (2.B.9)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2020
L/T	2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-134a	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-227ea	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		CF_4	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF_6	159,6	0,0%	0,9	0,0%	-99,4

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC	Tier 3	PS	PS
SF_6	Tier 3	PS	PS

Die Kategorie *Produktion halogenierter Kohlenwasserstoffe* ist für HFC-23-Emissionen aus Nebenprodukten eine Hauptkategorie nach dem Level und dem Trend. Die Kategorie ist unterteilt in Emissionen durch Nebenprodukte (2.B.9.a By-product Emissions) und in herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b Fugitive Emissions).

4.3.9.1 Nebenprodukt-Emissionen (2.B.9.a)

4.3.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.a)

Bei der Herstellung von HFCKW-22 fällt prozessbedingt bis zu 3 % HFKW-23 als Nebenprodukt an. Selbst bei Weiterverarbeitung (z.B. zu Kältemitteln) oder beim Auffangen zur stofflichen Zersetzung ist es technisch bedingt unvermeidlich, dass ein Teil des HFKW-23 in die Atmosphäre entweicht.

In Deutschland gab es zwei Produktionsanlagen für HFCKW-22, die von einem Unternehmen betrieben wurden, eine in Frankfurt und eine in Bad Wimpfen. Seit Inbetriebnahme der FCKW-Spaltanlage in Frankfurt im Jahr 1995 wurde der bei der HFCKW-22 Produktion entstehende überschüssige HFKW-23 dort direkt der Hochtemperaturspaltung mit Rückgewinnung von Flusssäure zugeführt, d.h. es entstanden keine nennenswerten Emissionen. Das an der zweiten deutschen Produktionsanlage entstandene HFKW-23 wurde quantitativ an der Produktionsanlage aufgefangen und entweder als Kältemittel oder - nach weitergehender destillativer Reinigung - als Ätzgas für die Halbleiterindustrie vermarktet. Der nicht verkäufliche Überschuss wurde seit 1999 nach Frankfurt an die Spaltanlage geliefert. Durch diese Maßnahme konnten die Emissionen maßgeblich gesenkt werden. Die HFCKW-22 Produktion wurde Mitte

2010 an einem Standort beendet und an dem anderen Standort soweit herunter gefahren dass nur noch die Teflonproduktion bedient wird. Die Produktionsmenge ist seither auf niedrigem Niveau konstant. Da die Anlage direkt mit der FCKW-Spaltanlage verbunden ist, treten nur sehr geringe Emissionen auf.

4.3.9.1.2 Methodische Aspekte (2.B.9.a)

Basierend auf Herstellerinformationen aus dem Jahr 1996 werden die HFKW-23-Emissionen für die Jahre 1990 bis 1994 als konstant angenommen.

Seit 1995 wurden die Emissionen anhand der HFCKW-22 Produktionsmenge, einer jährlichen Messung der HFKW-23-Konzentration im Abgas, der HFKW-23 Verkaufsmenge und der Menge an HFKW-23, welche der Spaltanlage zugeführt wurde, vom Hersteller über eine Massenbilanz berechnet. Dabei wurden für das Berichtsjahr 1995 bei der ersten Produktionsanlage seit Jahresmitte Maßnahmen (Spaltanlage) zur Vermeidung von Emissionen zu Grunde gelegt. Seit dem Berichtsjahr 2011 werden die Produktionsmengen von Experten geschätzt und daraus die Emissionen ermittelt. Grundlage für die Schätzung sind vergleichbare Produktionsanlagen in anderen europäischen Ländern. 2019 erfolgte ein Abgleich der Annahmen mit dem zuständigen Industrievertreter.

Aktivitätsdaten

Es gibt nur einen Hersteller von HFCKW in Deutschland. Die Daten des Unternehmens unterliegen daher der Vertraulichkeit. Die Emissions- und Produktionsmengen wurden dem Umweltbundesamt bis 2010 gemeldet, aber nur aggregiert berichtet. Seit 2011 werden die Daten des Statistischen Bundesamtes verwendet. Die Aktivitätsdaten des HFKW-23 werden mit denen der HFKW, FKW und SF_6 als „unspecified mix“ in 2.B.9 berichtet.

Emissionsfaktoren

Es wird seit 2011 von einem Zwangsanfall vom HFKW-23 von 0,03kg/kg HFCKW-22 ausgegangen. Der Emissionsfaktor liegt damit bei 0,015kg/ kg HFCKW-22. Obwohl heute weniger R23 zwangsanfällt, kann in Zukunft nicht ausgeschlossen werden, dass der Anteil wieder steigt. Es erfolgt daher keine Herabsetzung des Emissionsfaktors.

Da die entsprechende Anlage in einem direkten Rohrverbundsystem ist, welches direkt mit einer HFCKW Cracking Anlage verbunden ist, resultiert dies in einer sehr geringen Emissionsmenge. Der Emissionsfaktor von 0,015 kg/kg HFCKW-22 liegt im Bereich der angegebenen Emissionsfaktoren im Guidebook. Unter der Tabelle 3.28 (IPCC GLs 2006, Vol 3) steht „EF for optimized large plants may go down to 0.014 kg HFC-23/kg HCFC-22 produced”.

Emissionen

Die Emissionen des HFKW-23 wurden bis 2010 vom Hersteller mitgeteilt. Seit 2011 werden Expertenschätzungen herangezogen.

Da die Anzahl der Hersteller in Deutschland unter drei liegt, sind die Emissionen vertraulich. Die Emissionen des HFKW-23 werden als „unspecified mix“ in 2.B.9 als Aggregat von 2.B.9a und 2.B.9b berichtet.

4.3.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.a)

Die für die Berechnung der Emissionen zu Grunde gelegten Annahmen werden in größeren regelmäßigen Abständen mit der Industrie überprüft. Sie werden mit 3% als recht genau angenommen.

4.3.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt und dem Produzenten zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer europäischer Länder.

4.3.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.a)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.a)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.9.2 Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b)

4.3.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.b)

In Deutschland gibt es ein Unternehmen, das an zwei Standorten HFKW und SF_6 produziert. Die Emissionsentwicklung geht mit der Entwicklung der Produktionsmengen einher. Während SF_6 und der HFKW-134a in Deutschland produziert werden, fand für den HFKW-227ea bis zum Jahr 2008 keine vollständige Synthese in Deutschland statt. Vielmehr wurde ein Teil des im spanischen Tarragona produzierten HFKW-227ea einer abschließenden Destillation in Deutschland unterzogen, um pharmazeutische Reinheit zu erzielen (Einsatz in Dosieraerosolen). Dabei entstanden Emissionen aufgrund geringfügiger Gasverluste.

Der HFKW-134a wird seit 1994 produziert, der HFKW-227ea seit 1996.

Die Emissionen des HFKW-134a sind seit 2011 relativ konstant. Die Schwankungen resultieren aus leichten Unterschieden in den jährlichen Produktionsmengen.

Die Emissionen des HFKW-227ea steigen, parallel zu den steigenden Produktionsmengen, seit 2009 an. Eine Ausnahme bildet das Jahr 2012, in dem weniger HFKW-227ea verkauft wurde und damit auch weniger Emissionen auftraten.

Zwischen 1990 und 1994 wurde in Deutschland auch CF_4 (FKW-14) produziert.

Die Emissionen bei der Produktion von SF_6 sind seit 2014 stark gesunken, da ein Plasmabrenner zur Reinigung der Abluft installiert wurde.

4.3.9.2.2 Methodische Aspekte (2.B.9.b)

Emissionsfaktoren

Aus den vom Hersteller bis 2009 gemeldeten Emissions- und Produktionsmengen wurden Emissionsfaktoren errechnet. Durch emissionsbegrenzende Maßnahmen konnte der Emissionsfaktor für SF6 ab 2014 weiter gesenkt werden. Alle Emissionsfaktoren wurden 2019 durch Gespräche mit Industrievertretern überprüft.

Aktivitätsdaten

Da jeweils nur ein Hersteller pro HFKW in Deutschland existiert, unterliegen die Daten der Unternehmen der Vertraulichkeit. Die Emissions- und Produktionsmengen wurden dem Umweltbundesamt bis 2010 gemeldet, aber nur aggregiert berichtet. Seit 2011 werden die Daten des Statistischen Bundesamtes verwendet.

4.3.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.b)

Die für die Berechnung der Emissionen zu Grunde gelegten Produktionszahlen können als sehr genau angenommen werden, da es sich um interne Aufzeichnungen der Hersteller handelt bzw. um offizielle statistische Erhebungen. Die Unsicherheiten der Emissionen werden mit 3% angenommen.

4.3.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.b)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer europäischer Länder.

4.3.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.b)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.b)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.3.10 Chemische Industrie - Sonstige: Emissionen aus sonstigen Produktionsprozessen (2.B.10)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2020
-/-	2 B 10, Other		N2O	IE	IE	IE	IE	IE
-/-	2 B 10, Other		CH4	59,5	0,0%	59,5	0,0%	-0,1%

Die Kategorie *Sonstige: Emissionen aus sonstigen Produktionsprozessen* ist keine Hauptkategorie.

4.3.10.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.10)

Unter dieser Kategorie werden die Vorläufersubstanzen der Treibhausgase aus der Produktion von Düngemitteln und Schwefelsäure berichtet. N_2O-Emissionen aus der Produktion von n-Dodecandisäure werden zwar hier beschrieben aber aus Vertraulichkeitsgründen mit in 2.G.3 erfasst. 1,12-Dodecandisäure ist nach Adipinsäure mengenmäßig die zweitwichtigste Dicarbonsäure. In Deutschland gibt es einen Hersteller.

Darüberhinaus werden unter „Lagerung chemischer Produkte“ sämtliche Mineralölprodukte betrachtet, die nicht als Brennstoffe genutzt werden (siehe hierzu Kapitel 3.3.2.1.4).

Tabelle 181: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 2.B.10 „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH_4	5 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	100 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 182: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 2.B.10 „Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH_4	150 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	500 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung

4.3.10.2 Methodische Aspekte (2.B.10)

N_2O – Emissionen

Die N_2O-Emissionen werden nach einer Tier 2-Methode berechnet. Die Produktionsmenge dafür stammt aus einer einmaligen Datenerhebung beim Hersteller. Die Daten werden fortgeschrieben. Die N_2O-Emissionen werden in einer Abgasbehandlungsanlage massiv reduziert.

Raffinerieferne Tanklager

Aus der Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen lassen sich laut Müller-BBM (Bender, 2009a) wegen des offensichtlich sehr unterschiedlichen Emissionsverhaltens der einzelnen Anlagen keine für Einzelanlagen repräsentative Emissionsfaktoren ableiten. Es konnten jedoch aggregierte Emissionsfaktoren gebildet werden, indem für die jeweiligen Datenkollektive die Summen aller Emissionen auf die Summen aller Kapazitäten bezogen wurden. In raffineriefernen Tanklagern kann zwischen der Lagerung von flüssigen und gasförmigen Mineralölprodukten unterschieden werden, da die Daten in der entsprechenden Differenzierung vorliegen. Die Emissionen der gasförmigen Mineralölprodukte werden der Lagerung chemischer Produkte (CRF 2.B.10) zugeordnet. Darüberhinaus wird mittels Splitfaktor bei den flüssigen Mineralölprodukten die Brennstoffe und die chem. Produkte unterschieden. Während die Brennstoffe unter 1.B.2 berichtet werden, sind die chem. Produkte unter 2.B.10 zu finden.

4.3.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.10)

Die Zeitreihenkonsistenz ist sichergestellt, weil die einmalige Datenerhebung auf die anderen Jahre übertragen wurde. Da die Zahlen auf qualitativen Aussagen des Herstellers basieren und sich nur auf ein Jahr beziehen, müssen Unsicherheiten angenommen werden ± 20 %.

4.3.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.10)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.10)

Aufgrund der Neuaufteilung der gelagerten Mineralölprodukte kommt es zu Rückrechnungen in den Kategorien 1.B.2.a und 2.B.10. Die Gesamtsumme der Emissionen verändert sich nicht.

4.3.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.10)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4 Metallproduktion (2.C)

Die Kategorie 2.C ist unterteilt in die Unterpunkte 2.C.1 bis 2.C.7. Dem Unterpunkt Eisen-und Stahlproduktion (2.C.1) sind in der Emissionsdatenbank ZSE die Sinterproduktion, die Roheisenproduktion, die Erzeugung von Eisenschwamm (direkt reduziertem Eisen; *engl.* DRI), die Stahlerzeugung und die Eisen-, Stahl- und Tempergussproduktion zugeordnet. Die Produktion von Ferrolegierungen (2.C.2) ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung und wird daher im vorliegenden Bericht nicht weiter untergliedert. Die Aluminiumproduktion (2.C.3) untergliedert sich in Hüttenaluminium und Umschmelzaluminium. Für die Anwendung von SF_6 in der Aluminium- und Magnesiumproduktion (2.C.4) gibt es keine weiteren Untergliederungen. Der Unterpunkt (2.C.5) umfasst im ZSE die Bleiproduktion. (2.C.6) beinhaltet die Zinkproduktion. Unter (2.C.7) werden die Kupferproduktion (2.C.7a), die Nickelproduktion (2.C.7b) und Sonstige (2.C.7c) zusammengefasst. Aus diesen Kategorien resultieren in Deutschland keine Treibhausgasemissionen.

4.4.1 Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1)

4.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**2 C 1, Iron and Steel Production**		**CO2**	**22.810,3**	**1,8%**	**14.538,1**	**2,0%**	**-36,3%**
-/-	2 C 1, Iron and Steel Production		N2O	26,5	0,0%	12,0	0,0%	-54,9%
-/-	2 C 1, Iron and Steel Production		CH4	4,7	0,0%	4,4	0,0%	-6,4%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	NS	CS
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	CS	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie *Eisen- und Stahlproduktion* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. In dieser Kategorie fallen neben Kohlendioxid- auch geringfügige Emissionen von Methan und Lachgas an. Die Methanemissionen resultieren aus der Walzstahlerzeugung sowie der Eisen-, Stahl und Tempergussproduktion. Das Lachgas stammt aus der Primärstahlproduktion, wo es beim Einsatz von Gichtgas in den Winderhitzern entsteht.

Da die CRF-Reporter-Software eine Zuordnung von Lachgas unter 2.C.1 nicht ermöglicht, wird es stattdessen unter 2.C.7 berichtet.

In Deutschland wurden im Jahr 2020 24,1 t Mio. t Rohstahl auf Erzbasis in sechs integrierten Hüttenwerken erzeugt. Die Elektrostahlproduktion betrug 11,5 Mio. t.

4.4.1.2 Methodische Aspekte (2.C.1)

Dieser Sektor umfasst die prozessbedingten Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (via Sinteranlage, Hochofen und Oxygenstahlwerk) sowie aus Elektrostahlwerken.

Weitere Strukturelemente in dieser Kategorie (Gießereien: Eisen-, Stahl- und Tempergussproduktion; Stahlerzeugung: Walz-Stahl-Produktion) dienen der Berechnung anderer Schadstoffemissionen (nicht von Treibhausgasen).

Die prozessbedingten CO_2-Emissionen aus der Primärstahlerzeugung in integrierten Hüttenwerken resultieren vor allem aus dem Reduktionsmitteleinsatz in den Hochöfen. Zudem

werden die CO_2-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz in Sinteranlagen und bei der Roheisenerzeugung (einschließlich der CO_2-Emissionen aus den von der Stahlindustrie selbst betriebenen Kalköfen) sowie die CO_2-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlerzeugung den prozessbedingten Emissionen im Sektor 2.C.1 zugerechnet.

Eine Produktion von Eisenschwamm - direkt reduziertem Eisen (*engl.* DRI) erfolgt in Deutschland nur in geringem Umfang (ca. 0,6 Mio. t. pro Jahr). Jährliche Angaben zur Produktionsmenge sind für die gesamte Zeitreihe vorhanden, sind aber vertraulich, weil sie sich nur auf eine einzige Anlage beziehen.

Die bei der Produktion von Eisenschwamm entstehenden CO_2-Emissionen resultieren aus dem Einsatz von Erdgas bzw. dem daraus erzeugten Gemisch der Reduktionsgase H_2 und CO. Die eingesetzte Menge an Erdgas ist über die gesamte Zeitreihe in den unter 1.A.2.a berichteten Einsätzen von Erdgas in der Stahlindustrie enthalten. Die CO_2-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm sind folglich ebenso über die gesamte Zeitreihe in den unter 1.A.2.a berichteten Emissionen enthalten.

Eine gesonderte Ausweisung prozessbedingter CO_2-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm unter 2.C.1 ist nicht möglich, weil gesonderte Angaben zur hierzu verwendeten Menge an Erdgas aus Gründen der Vertraulichkeit nicht vorliegen und anderenfalls hieraus auf die vertraulichen Angaben zur Produktionsmenge der betreffenden Anlage zurückgeschlossen werden könnte.

Methode zur Berechnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz in den Hochöfen resultierenden CO_2-Emissionen

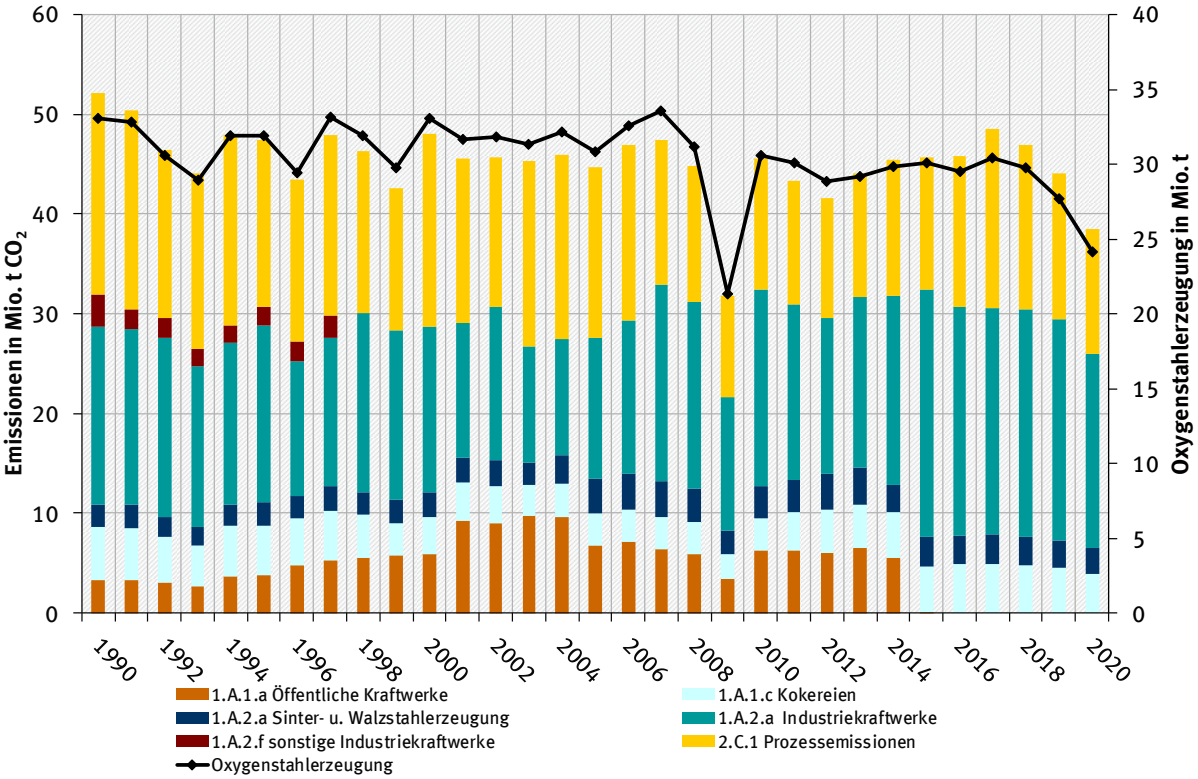
Den IPCC Guidelines zufolge sind die CO_2-Emissionen in Kategorie 2.C.1 über eine Kohlenstoffbilanz zu ermitteln. Hintergrund ist, dass praktisch sämtlicher Kohlenstoff, der in die die Hochöfen eingebracht wird, bei der späteren energetischen Nutzung oder Abfackelung des im Hochofen gebildeten Gichtgases oder des im Oxygenstahlkonverter gebildeten Konvertergases als CO_2 in die Atmosphäre abgegeben wird. Der Anteil des Roheisens, der nicht zu Stahl weiterverarbeitet wird, beträgt unter 1 %, daher ist der darin enthaltene Kohlenstoffanteil im Vergleich zu den mit dem Reduktionsmitteleinsatz verbundenen CO_2-Emissionen nicht relevant (ca. 0,1 %). Analoges gilt für den Kohlenstoffanteil im erzeugten Stahl, der nach überschlägiger Rechnung in der Größenordnung von 60.000 t/a liegt und somit dem Kohlenstoffeintrag über die eingesetzten Rohstoffe (Erze und Schrotte) entspricht[70].

Der Reduktionsmitteleinsatz im Hochofen und der Materialeinsatz im Konverter werden statistisch sehr detailliert erfasst. Diese Daten werden dem UBA von der WV Stahl jährlich übermittelt. Die Kohlenstoffgehalte der einzelnen Materialien werden aus den Emissionshandelsdaten berechnet. Weiterhin stehen CO_2 Emissionsfaktoren für die Nutzung von Hochofen- und Konvertergas aus dem Emissionshandel zur Verfügung. Die eingesetzten Gasmengen werden aus der Energiestatistik entnommen. Die Berechnung über den Kohlenstoffeintrag auf der einen Seite und dem Kohlenstoffaustrag in Form der Hochofen-/ Konvertergasnutzung führt zu einer Differenz. Diese CO_2 Emissionen werden in der Kategorie 2.C.1 berichtet. Die energetische Nutzung von Gichtgas und Konvertergas findet nur zum Teil in der Kategorie 2.C.1 statt (namentlich in den Winderhitzern am Hochofen), daneben wird es für andere Prozessfeuerungen in der Eisen- und Stahlindustrie (1.A.2.a), in Kokereien zur

[70] Der durchschnittliche Kohlenstoffanteil der über 2000 Stahlsorten, die in Deutschland erzeugt werden, wird statistisch nicht erfasst. Nach Angaben der Werke im Rahmen des Emissionshandels wird der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt des erzeugten Rohstahls auf 0,15 % geschätzt. Nach überschlägiger Rechnung deckt sich der nicht energetische Kohlenstoffaustrag über den erzeugten Stahl mit dem Kohlenstoffeintrag über das Erz (Kohlenstoffgehalt ca. 0,1 %) sowie den eingesetzten Schrott (Kohlenstoffgehalt ca. 0,15 %),

Koksofenunterfeuerung (1.A.1.c) sowie in öffentlichen (1.A.1.a) oder Industriekraftwerken (1.A.2.f) zur Stromerzeugung genutzt. Für alle genannten Kategorien liefert die Energiestatistik Angaben zum Gicht- und Konvertergasverbrauch. Folglich teilen sich die aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung resultierenden CO_2-Emissionen auf alle Kategorien auf, in denen das Gicht- und Konvertergas verbrannt und somit tatsächlich CO_2 emittiert wird (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO_2-Emissionen



Die Summe der dargestellten CO_2-Emissionen zeigt eine gute Korrelation mit den berichteten Aktivitätsraten für die Primärstahlerzeugung (siehe schwarze Linie). Jährliche Schwankungen in den einzelnen Kategorien beruhen vermutlich auf wechselnden Zuordnungen einzelner Anlagen in der amtlichen Statistik. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Gesamtsumme der berichteten Emissionen.

Tabelle 183: CO_2-Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (einschließlich Gichtgasnutzung)

Mt CO_2	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	3,244	3,291	3,015	2,631	3,647	3,764	4,816	5,305	5,465	5,808
1.A.1.c Kokereien	5,340	5,251	4,590	4,083	5,066	4,924	4,707	4,969	4,362	3,145
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	2,228	2,256	2,046	1,936	2,081	2,445	2,151	2,419	2,255	2,444
1.A.2.a Industriekraftwerke	17,886	17,660	17,927	16,098	16,326	17,759	13,624	14,935	17,975	16,933
1.A.2.f Sonstige Industrie-kraftwerke	3,206	2,025	1,942	1,707	1,720	1,770	1,932	2,144	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	20,228	19,961	16,942	17,693	19,074	16,736	16,204	18,194	16,255	14,317

Mt CO_2	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	5,956	9,284	9,030	9,766	9,640	6,738	7,086	6,370	5,851	3,425
1.A.1.c Kokereien	3,652	3,741	3,684	3,029	3,356	3,247	3,281	3,226	3,226	2,500
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	2,520	2,487	2,629	2,265	2,788	3,461	3,603	3,642	3,437	2,315
1.A.2.a Industriekraftwerke	16,573	13,627	15,406	11,709	11,695	14,164	15,351	19,748	18,675	13,429
1.A.2.f Sonstige Industrie-kraftwerke	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	19,379	16,493	14,979	18,509	18,418	17,154	17,586	14,452	13,614	10,135
Mt CO_2	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	6,276	6,258	6,080	6,465	5,533	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
1.A.1.c Kokereien	3,245	3,895	4,289	4,341	4,554	4,648	4,872	4,905	4,809	4,479
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	3,198	3,217	3,646	3,715	2,787	3,015	2,912	2,987	2,872	2,752
1.A.2.a Industriekraftwerke	19,705	17,553	15,512	17,173	18,890	24,735	22,955	22,631	22,757	22,224
1.A.2.f Sonstige Industrie-kraftwerke	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	13,144	12,367	12,046	12,429	13,717	13,344	15,101	18,075	16,450	14,667
Mt CO_2	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	0,000									
1.A.1.c Kokereien	3,943									
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	2,544									
1.A.2.a Industriekraftwerke	19,495									
1.A.2.f Sonstige Industrie-kraftwerke	0,000									
2.C.1 Prozessemissionen	12,573									

Sekundärbrennstoffe werden in der Eisen- und Stahlindustrie nur bei der Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt. Diese Materialien sind bisher in nationalen Statistiken und der Energiebilanz nicht enthalten. Als Datenquelle werden daher Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl genutzt. Da die Sekundärbrennstoffe jedoch ausschließlich als Ersatzreduktionsmittel an Stelle von Koks eingesetzt werden, sind die aus ihrem Einsatz resultierenden CO_2-Emissionen ebenfalls in den über den Gichtgas- und Konvertergaseinsatz ermittelten CO_2-Emissionen enthalten und müssen nicht gesondert berechnet werden.

Ermittlung der CO_2-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz bei der Roheisenerzeugung

Die CO_2-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz werden nach Tier 1 bestimmt (Lechtenböhmer et al. (2006a), FKZ 20541217/02). Die Stahlindustrie setzt Kalkstein ($CaCO_3$) in der Sinteranlage und bei der Roheisenerzeugung im Hochofen ein. In den Oxygenstahl- sowie den Elektrostahlwerken wird hingegen gebrannter Stahlwerkskalk (CaO) als Schlackenbildner eingesetzt, der in der Regel von Kalkindustrie zugekauft wird. Die bei der Erzeugung des zugekauften Branntkalks freigesetzten CO_2-Emissionen werden bereits unter 2.A.2 berichtet. Lediglich ein Stahlwerk deckt seinen Kalkbedarf mit Hilfe eigener Kalkbrennöfen, deren Produktionsmenge und damit verbundene CO_2-Emissionen nicht in den unter 2.A.2 berichteten Daten enthalten sind. Die Produktionsmenge dieser Kalköfen wurde auf Basis verfügbarer Angaben zur Rohstahlerzeugung des Werks geschätzt (genauere Beschreibung siehe NIR 2016).

Aus den so ermittelten AR werden in 2.C.1 – analog zu 2.A.2 – nur die über einen stöchiometrischen EF berechneten rohstoffbedingten CO_2-Emissionen berichtet (siehe Tabelle 184). Die CO_2-Emissionen aus dem Energieeinsatz in den stahlwerkseigenen Kalköfen, der in der Energiebilanz nicht gesondert ausgewiesen werden, sind in den unter 1.A.2.a berichteten Emissionen enthalten.

Die Kalksteineinsätze bei der Sinter- und Roheisenherstellung wurden bis 2004 in der Eisen- und Stahlstatistik veröffentlicht (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 8.1), seitdem müssen sie aus

den im Rahmen des BGS-Bogens berichteten Produktionsmengen von Sinter und Roheisen über spezifische Einsatzfaktoren (d. h. kg Kalkstein pro t Sinter oder Roheisen) berechnet werden. Die Aktivitätsraten des Kalksteineinsatzes werden mit dem stöchiometrischen Emissionsfaktor für Kalkstein multipliziert und ergeben dann die in Tabelle 184 angegebenen CO_2-Emissionen.

Tabelle 184: Kalksteineinsatz sowie Eigenerzeugung von Branntkalk in der Stahlindustrie und daraus resultierende CO_2-Emissionen

Jahr	Kalksteineinsatz [t/a]		Eigenerzeugung	CO_2-Emissionen [t/a]		
	Hochofen	Sinteranlage	Branntkalk [t/a]	Kalksteineinsatz	Kalkerzeugung	Summe
	AR	AR	AR	EF 440 kg/t	EF 746 kg/t	
1990	755.737	4.680.775	153.918	2.392.065	114.823	2.506.888
1991	757.000	4.532.000	147.439	2.327.160	109.990	2.437.150
1992	666.000	4.198.000	136.560	2.140.160	101.874	2.242.034
1993	627.000	3.891.000	129.458	1.987.920	96.575	2.084.495
1994	733.000	4.173.153	140.003	2.158.707	104.443	2.263.150
1995	751.000	4.600.000	139.973	2.354.440	104.420	2.458.860
1996	686.000	4.350.000	129.177	2.215.840	96.366	2.312.206
1997	629.000	4.471.000	145.351	2.244.000	108.432	2.352.432
1998	677.000	4.588.000	140.157	2.316.600	104.557	2.421.157
1999	817.000	4.144.000	130.704	2.182.840	97.505	2.280.345
2000	924.000	4.273.000	144.991	2.286.680	108.163	2.394.843
2001	866.000	4.136.000	138.859	2.200.880	103.588	2.304.468
2002	831.000	3.940.000	139.538	2.099.240	104.096	2.203.336
2003	832.525	4.046.711	137.468	2.146.864	102.551	2.249.415
2004	847.689	4.209.871	140.977	2.225.326	105.169	2.330.495
2005	787.724	4.306.067	134.550	2.241.268	100.374	2.341.642
2006	822.920	4.410.408	162.500	2.302.664	121.225	2.423.889
2007	840.868	4.608.067	149.500	2.397.531	111.527	2.509.058
2008	790.216	4.541.174	136.500	2.345.812	101.829	2.447.641
2009	547.680	3.496.405	97.500	1.779.397	72.735	1.852.132
2010	799.679	4.045.042	130.000	2.131.677	96.980	2.228.657
2011	782.420	4.097.270	123.500	2.147.063	92.131	2.239.194
2012	757.355	3.912.824	117.000	2.054.879	87.282	2.142.161
2013	760.932	3.926.706	130.000	2.062.561	96.980	2.159.541
2014	782.447	3.945.838	130.000	2.080.446	96.980	2.177.426
2015	794.999	3.987.196	149.500	2.104.166	111.527	2.215.693
2016	780.445	3.750.267	149.500*)	1.993.514	111.527*)	2.105.041
2017	797.856	4.120.243	149.500*)	2.163.964	111.527*)	2.275.491
2018	779.356	3.926.906	149.500*)	2.070.755	111.527*)	2.182.282
2019	727.895	4.003.122	149.500*)	2.081.647	111.527*)	2.193.174
2020	644.097	3.375.375	149.500	1.768.568	111.527*)	1.880.095

Quelle: bis 2004: Berechnung der Kalksteineinsätze im Projekt Kalksteinbilanz ((Lechtenböhmer et al., 2006a), FKZ 20541217/02),
ab 2005: Berechnung über die im o.g. Projekt ermittelten produktspezifischen Faktoren
*) Fortschreibung aufgrund fehlender Angaben zur Rohstahlerzeugung des betreffenden Werks (Expertenschätzung)

Ermittlung der CO_2-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlherstellung

Bei der Elektrostahlherstellung entstehen direkte CO_2-Emissionen durch den Abbrand der Graphitelektroden, die ebenfalls den prozessbedingten CO_2-Emissionen der Stahlerzeugung zuzurechnen sind. Sie werden aus der Menge des produzierten Elektrostahls über einen in 2009 im Rahmen eines Forschungsvorhabens (Hensmann et al., 2012) aktualisierten Emissionsfaktor (7,4 kg/t) berechnet, der auf dem spezifischen Elektrodenverbrauch pro t Elektrostahl (2,06 kg/t), dessen Kohlenstoffgehalt (98%) sowie dem stöchiometrischen Faktor (3,667 t CO_2/t C) basiert. Der Beitrag des Elektrodenabbrands bei der Elektrostahlherstellung ist mit ca. 0,2% der gesamten CO_2-Emissionen der Eisen- und Stahlerzeugung unbedeutend.

Ermittlung der insgesamt unter 2.C.1 zu berichtenden CO_2-Emissionen der Eisen- und Stahlproduktion)

Die insgesamt unter 2.C.1 zu berichtenden prozessbedingten Emissionen setzen sich wie folgt zusammen:

1. die aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung resultierenden CO_2-Emissionen, soweit das Gicht- und Konvertergas nicht in anderen Kategorien eingesetzt und folglich dort als CO_2-Emissionen berichtet wird
2. den CO_2-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz bei der Roheisenerzeugung sowie der Eigenerzeugung an Branntkalk und
3. den CO_2-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlherstellung

Die so ermittelten Emissionsmengen sind Tabelle 185 zu entnehmen.

Tabelle 185: Insgesamt unter 2.C.1 zu berichtende prozessbedingte Emissionen

Jahr	CO_2-Emissionen aus dem Reduktionsmitteleinsatz, soweit nicht in anderen Kategorien berichtet [t/a]	CO_2-Emissionen aus Kalksteineinsatz sowie der Eigenerzeugung an Branntkalk [t/a]	CO_2-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand [t/a]	2.C.1 gesamt [t/a]
1990	20.228.163	2.506.888	75.242	**22.810.293**
1991	19.960.553	2.437.150	68.464	**22.466.167**
1992	16.942.152	2.242.034	64.358	**19.248.544**
1993	17.692.711	2.084.495	59.840	**19.837.046**
1994	19.074.282	2.263.150	65.783	**21.403.215**
1995	16.736.415	2.458.860	74.794	**19.270.069**
1996	16.204.219	2.312.206	76.291	**18.592.716**
1997	18.193.667	2.352.432	87.552	**20.633.651**
1998	16.255.161	2.421.157	89.196	**18.765.514**
1999	14.316.676	2.280.345	90.456	**16.687.477**
2000	19.378.698	2.394.843	98.250	**21.871.792**
2001	16.493.071	2.304.469	96.959	**18.894.499**
2002	14.978.738	2.203.335	97.379	**17.279.452**
2003	18.508.674	2.249.415	99.046	**20.857.135**
2004	18.418.361	2.330.495	104.981	**20.853.837**
2005	17.153.961	2.341.642	100.778	**19.596.381**
2006	17.586.218	2.423.890	108.203	**20.118.311**
2007	14.451.531	2.509.058	110.718	**17.071.307**
2008	13.614.398	2.447.641	107.945	**16.169.984**
2009	10.134.642	1.852.132	83.587	**12.070.361**
2010	13.144.494	2.228.658	97.446	**15.470.598**
2011	12.367.111	2.239.195	104.741	**14.711.047**
2012	12.046.280	2.142.161	101.676	**14.290.117**
2013	12.428.654	2.159.541	99.245	**14.687.440**
2014	13.716.522	2.177.426	96.314	**15.990.262**
2015	13.344.183	2.215.693	93.401	**15.652.946**
2016	15.100.844	2.105.041	93.193	**17.298.748**
2017	18.075.302	2.275.491	97.530	**20.446.702**
2018	16.450.331	2.182.283	93.669	**18.726.283**
2019	14.667.114	2.193.174	88.099	**16.948.075**
2020	12.572.923	1.880.095	85.360	**14.538.074**

4.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.1)

Die Zeitreihenkonsistenz ist gegeben, da die Aktivitätsraten bei allen Anlagen erhoben und die Emissionen für alle Jahre nach derselben Methode ermittelt wurden. Da die Aktivitätsraten für

das Jahr 2017 von der WV Stahl aufgrund wettbewerbsrechtlicher Probleme nicht vereinbarungsgemäß bereitgestellt werden konnten, wurden ersatzweise für das Jahr 2017 aggregierte Werte aus dem Emissionshandel verwendet. Die Konsistenz der Angaben aus dem Emissionshandel wurde anhand von Vergleichswerten für vorangegangene Jahre überprüft; die Abweichungen betragen unter 1%, nur bei der Sinterproduktion sind sie geringfügig höher (maximal + 8%).

Bei den CO_2-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz gab es von 2004 zu 2005 einen Methodenbruch durch den Wegfall der bis 2004 verwendeten Datenquelle. Die Entwicklung der Zeitreihe erscheint jedoch trotz Methodenbruch plausibel. Aufgrund der notwendigen Berechnung beträgt die Unsicherheit der Aktivitätsrate hier ± 10%. Eine erhöhte Unsicherheit weist auch die auf Basis mehrerer Annahmen geschätzte Aktivitätsrate für die Eigenerzeugung an Branntkalk auf; die damit verbundenen CO_2-Emissionen sind allerdings vergleichsweise unbedeutend.

Die Unsicherheit des Emissionsfaktors für den Elektrodenabbrand beträgt ± 3 %, bei den übrigen Daten liegt die Unsicherheit bei ± 5 %. Die Unsicherheiten beruhen nur auf Mess- und Analyseungenauigkeiten.

4.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten werden gemäß einer Kooperationsvereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl von dieser zusammengetragen und dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben vereinbarungsgemäß qualitätsgesichert erhoben werden.

Die Emissionsermittlung in den Kategorien 1.A.2.a und 2.C.1 ist eine komplexe Aufgabe, da es zwischen der Energiebilanz, der Emissionsberichterstattung, dem Emissionshandel sowie den Verbandsstatistiken große methodische Unterschiede gibt. Zur Sicherung der Datenqualität werden von der Fachseite und der Nationale Koordinierungsstelle anlassbezogen Expertengespräche durchgeführt, in denen die Daten verglichen und bewertet werden. Aufgrund der methodischen Unterschiede ist eine Plausibilitätskontrolle der ermittelten Emissionsmengen mit den Daten der deutschen Emissionshandelsstelle nur auf einer hoch aggregierten Ebene möglich.

Eine Plausibilisierung der für diese Quellgruppe ermittelten Emissionen anhand der vom Klimasekretariat ermittelten implizierten Emissionsfaktoren (IEF) ist

1. aufgrund des von Land zu Land sehr unterschiedlichen Anteils der CO_2-intensiven Primärstahlerzeugung an der gesamten Stahlerzeugung,
2. aufgrund der von Land zu Land unterschiedlichen Allokation der daraus resultierenden Emissionen auf die Quellgruppen 1.A.2.a, 2.C.1 sowie ggf. weitere Quellgruppen, in denen die bei der Eisen- und Stahlerzeugung anfallenden Prozessgase energetisch genutzt werden, und
3. aufgrund der von Land zu Land unterschiedlich berichteten Aktivitätsraten unter 2.C.1, deren Addition zudem z.T. nicht sachgerecht ist,

nicht möglich. Die genannten Faktoren führen zu einer extremen Streuung der ermittelten IEF für die genannten Quellgruppen, die keinen Rückschluss auf die „Richtigkeit“ der ermittelten Emissionen ermöglichen.

4.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.1)

Das Ersetzen von Daten aus der vorläufigen Energiebilanz durch Daten der endgültigen Energiebilanz führt zu Rückrechnungen im Jahr 2019.

4.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4.2 Metallproduktion: Produktion von Ferrolegierungen (2.C.2)

4.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 C 2, Ferroalloys Production		CO2	429,0	0,0%	5,9	0,0%	-98,6%
-/-	2 C 2, Ferroalloys Production		CH4	8,6	0,0%	1,6	0,0%	-81,2%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	IS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2			NE

Die Kategorie *Produktion von Ferrolegierungen* ist keine Hauptkategorie. Ferrolegierungen sind Zuschlagsstoffe, mit denen Stahl legiert wird. In Deutschland existieren fünf Hersteller von Ferrolegierungen: Ferrochrom, Ferrosilizium und Siliziummetall werden jeweils nur von einem Unternehmen hergestellt; weitere Ferrolegierungen nur in sehr geringem Umfang. Seit 1995 wird ausschließlich das Elektro-Lichtbogen-Verfahren verwandt, bei dem nur aus dem Elektrodenabbrand geringe Mengen an prozessbedingtem CO_2 freigesetzt werden.

Bis 1995 kam teilweise das Hochofenverfahren zum Einsatz, das mit vergleichsweise höheren CO_2-Emissionen verbunden war.

4.4.2.2 Methodische Aspekte (2.C.2)

Die verwendeten **Emissionsfaktoren** zu beiden genannten Verfahren (Hochofen- und Elektro-Lichtbogen-Verfahren) wurden in dem Forschungsvorhaben „NEU-CO_2" (FKZ 203 41 253/02, Weiß et al. (2006)) ermittelt.

Für die **Aktivitätsrate** wurden für die Jahre 1990 bis 1994 Daten aus der amtlichen Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes verwendet. Seit 1995 wird auf Daten des British Geological Survey (Brown et al., 2019) zurückgegriffen, weil keine nutzbaren Daten mehr in der amtlichen Produktionsstatistik enthalten sind. Die aktuell verfügbaren Daten stammen aus dem Jahr 2019. Für das Jahr 2020 ist die Aktivitätsrate fortgeschrieben worden.

4.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.2)

Die Aktivitätsraten des (British Geological Survey, Brown et al. (2019)) beruhen teilweise auf Schätzungen und sind daher mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten behaftet.

Die Daten des (British Geological Survey, Brown et al. (2019)) werden zudem regelmäßig mit Daten des US Geological Survey (USGS) verglichen. Die Daten des USGS liegen zwar in derselben Größenordnung wie die Daten des BGS, weisen aber einen geringeren Detail- und höheren Aggregationsgrad auf. Aus diesem Grund werden die Daten des BGS bevorzugt.

Für die Jahre 2001 – 2006 liegen auch Daten des Statistischen Bundesamtes zum Absatz von Ferrolegierungen vor, welche aber um Faktor 0,7 unter den Produktionsdaten des BGS liegen. Aus Gründen der Zeitreihenkonsistenz werden daher auch für diese Jahre die Daten des BGS verwendet.

Die deutliche Abnahme des CO_2-Emissionsfaktors von 1994 zu 1995 bedeutet ebenfalls keine Inkonsistenz, sondern resultiert aus dem Wechsel des Produktionsverfahrens.

4.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.2)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten AR von BGS wurden mit Hilfe der Angaben des Statistischen Bundesamtes und des USGS verifiziert (siehe oben).

4.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.2)

Auf Grund der Aktualisierung der im letzten Jahr fortgeschriebenen Aktivitätsrate ergeben sich Rückrechnungen, die geringfügige Emissionsänderungen für das vergangene Jahr zur Folge haben. Diese Rückrechnung erfolgt regelmäßig, da die zugrunde liegende Statistik nur alle zwei Jahre bereitgestellt wird.

4.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4.3 Metallproduktion: Aluminiumproduktion (2.C.3)

4.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990/1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990/1995-2020
-/T	**2 C 3, Aluminium Production**		**CF4**	**1.544,5**	**0,1%**	**64,0**	**0,0%**	**-95,9%**
-/-	2 C 3, Aluminium Production		CO2	1.011,9	0,1%	723,2	0,1%	-28,5%
-/-	2 C 3, Aluminium Production		C2F6	256,2	0,0%	12,7	0,0%	-95,0%
-/-	2 C 3, Aluminium Production		SF6	C	C	C	C	C

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 3	AS	CS
CH_4	-	-	NE
PFC	Tier 3	AS	CS
SF_6	CS	NS	CS
NO_X	-	-	NE
CO, SO_2		AS	CS

Primäraluminium - Nebenproduktemissionen

Die Kategorie *Primäraluminiumproduktion* ist nach der Einordnung der Kategorie 2.C.3 Aluminiumproduktion für CF_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend.

In Deutschland wird in vier Hütten Aluminium in Elektrolyseöfen mit vorgebrannten Anoden erzeugt. Wesentliche Emissionsquellen sind die Abgase der Elektrolyseöfen und diffuse Emissionen über Hallendächern. An klimarelevanten Substanzen und Luftschadstoffen werden insbesondere CO, CO_2, SO_2, CF_4 und C_2F_6 emittiert.

Die größte Quelle für FKW-Emissionen ist in Deutschland trotz erheblicher Reduktionen seit 1990 weiterhin die Produktion von Primäraluminium. Durch umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen in deutschen Aluminiumhütten und der Stilllegung von Produktionskapazitäten sanken die absoluten Emissionen aus diesem Sektor seit 1995 um über 90 %. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der FKW-Emissionen ist eine Stagnation auf niedrigem Niveau zu erwarten.

Sekundäraluminium – Verwendung von F-Gasen in Gießereien

Die Kategorie *Verwendung von SF_6 in der Sekundäraluminiumproduktion* (Alu-Giessereien) ist nach der Einordnung der Kategorie 2.C.3 Aluminiumproduktion für SF_6-Emissionen keine Hauptkategorie.

Zum Spülen von Sekundäraluminium-Schmelzen genügen in der Regel Inertgase ohne Additive. In einigen wenigen, meist kleineren Aluminium-Gießereien sowie in Laboren kam in der Vergangenheit aber ein Reinigungssystem aus Inertgasen zum Einsatz, dem SF_6 in Konzentrationen von 1 oder 2,5 % zugesetzt war. Solche Reinigungssysteme wurden letztmalig im Jahr 1999 eingesetzt (seit dem Jahr 2000 findet kein Verkauf in Deutschland mehr statt). Von 1990 bis 1999 lag der SF_6 –Verbrauch relativ konstant bei 0,5 t/a.

Vereinzelt wird seit dem Jahr 1999 reines SF_6 als Reinigungsgas eingesetzt.

4.4.3.2 Methodische Aspekte (2.C.3)

Primäraluminium - Nebenproduktemissionen

Die Aktivitätsraten werden dem Umweltbundesamt jährlich durch die WirtschaftsVereinigung Metalle übermittelt. Der durchschnittliche Anodenverbrauch zur Produktion von Primäraluminium liegt bei 430 kg Petrolkoks je Tonne Aluminium. In der Tabelle 186 sind die prozessbedingten Emissionsfaktoren dargestellt.

Die bei der Erzeugung von Primäraluminium anfallende Gesamtabgasmenge je Tonne Aluminium wurde mit einem mittleren Konzentrationswert, der aus mehreren Einzelwerten verschiedener Anlagen mit entsprechender Gewichtung gebildet wurde, multipliziert. Die Emissionsfaktoren berücksichtigen auch diffuse Emissionsquellen, wie Hallendachemissionen. Die verwendeten Emissionswerte für CO sind Ergebnisse aus Emissionsmessungen im Rahmen von Investitionsvorhaben.

Die SO_2- und CO_2-Emissionsfaktoren wurden aus dem spezifischen Anodenverbrauch errechnet. Die Anoden bestehen aus Petrolkoks; diese weisen spezifische Schwefelgehalte von ca. 1,2 % auf, woraus ein SO_2-Emissionsfaktor von 10,4 kg/t Al berechnet werden kann. Grundlage der Berechnung des CO_2-Emissionsfaktors ist der spezifische Kohlenstoffgehalt von Petrolkoks von 857 kg pro t. (vgl. Kapitel 18.8). Durch Multiplikation des durchschnittlichen Anodenverbrauchs mit dem mittleren Kohlenstoffgehalt und der stöchiometrischen Umsetzung zu CO_2 ergibt sich ein CO_2-Emissionsfaktor von 1367 kg/t Aluminium. Der CO_2-Emissionsfaktor vermindert sich theoretisch um den Anteil, der sich aus einem CO-Anteil von 180 kg/t Al ergibt, da sich auch CO lediglich aus dem Verbrauch der Anoden bilden kann. Dies ist in dem unten genannten CO_2-Faktor nicht berücksichtigt. Dieser Ansatz entspricht der Tier 2 –Methodik nach den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006b).

Die in Tabelle 186 genannten Emissionsfaktoren wurden mit den Emissionsangaben in BAT-Merkblättern[71] und anderen Quellen (z.B. der VDI Richtlinie 2286 VDI (1998): Blatt 1) sowie mit den Daten aus dem EU-Emissionshandel (ETS) abgeglichen.

[71] siehe http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm

Tabelle 186: AR und prozessbedingte EF der Primäraluminiumproduktion im Jahr 2013

	AR		Emissionsfaktoren				
	Anzahl Hütten	Produktion [t]	CO_2 [kg/t]	NO_X [kg/t]	SO_2 [kg/t]	C gesamt [kg/t]	CO [kg/t]
Primäraluminium	4	492.368	1367	k.A.	10,4	k.A.	180

Für die FKW-Emissionen aus Primäraluminiumhütten liegen aufgrund einer Selbstverpflichtung der Aluminiumindustrie Emissionsangaben vor. Seit 1997 berichtet die Aluminiumindustrie jährlich über die Entwicklung der FKW-Emissionen aus diesem Sektor. Die Messdaten werden nicht veröffentlicht, liegen dem Umweltbundesamt aber vor.

Basis für Berechnungen der CF_4 Emissionen sind die in den Jahren 1996 und 2001 in allen deutschen Hütten durchgeführten Messungen. Hierbei wurden je nach Technologie spezifische CF_4- Emissionswerte pro Anodeneffekt[72] ermittelt. Die Zahl der Anodeneffekte wird in den Hütten erfasst und dokumentiert. Die CF_4-Gesamtemission wurde durch Multiplikation der gesamten Anodeneffekte des Jahres mit der in 2001 ermittelten spezifischen CF_4-Emission pro Anodeneffekt errechnet. Der Gesamtemissionsfaktor für CF_4 ergibt sich durch Addition der CF_4-Emissionen der Hütten dividiert durch die Gesamtaluminiumproduktion der Hütten. C_2F_6 und CF_4 entstehen im festen Verhältnis von etwa 1:10. Die oben genannte Methode wurde auf die Zeitreihe bis 2010 angewendet, durch Rückrechnungen wurden die Emissionen für die Jahre 1990 bis 1996 ergänzt. Für den Emissionshandel hat die Aluminiumindustrie die Berechnung der PFC-Emissionen auf die IAI-Methode (entspricht UNFCC-Default Tier 2) umgestellt. Der dafür vorgesehene Default-Slope-Faktor wird auch von allen anderen europäischen Anlagen genutzt und ist im Rahmen des europäischen Emissionshandels anerkannt. Aus Konsistenzgründen hat die Aluminiumindustrie deshalb ab 2010 auch die Emissionsdaten für die Emissionsberichterstattung nach der IAI-Methode berichtet.

Sekundäraluminium – Verwendung von F-Gasen in Gießereien

Für die Aluminiumgießereien konnten durch anlagenspezifische Messungen Konkretisierungen des Emissionsfaktors und damit der Emissionen vorgenommen werden.

Für die Berichtsjahre 1990 bis 1994 wurden Berichte und archivierte Umfrageprotokolle aus dem Jahr 1996 zu Grunde gelegt.

Aus Vertraulichkeitsgründen werden die SF_6-Emissionen mit 2.C.4 Magnesiumproduktion zusammen berichtet.

Emissionsfaktor Sekundäraluminium

Basierend auf von der Zulassungsbehörde anerkannten, vertraulichen Messprotokollen ist der Emissionsfaktor von SF_6 für die Aluminiumgiessereien für den Zeitraum von 1999 bis 2008 von 100 % auf 3 % reduziert worden. Durch Umbaumaßnahmen konnte eine weitere Reduzierung des Emissionsfaktors ab 2009 auf 1,5 % erreicht werden. Dieser Wert ist ebenfalls durch von der Zulassungsbehörde anerkannte, vertrauliche Messprotokolle bestätigt.

72 „...Zu organischen Fluoriden kommt es jedoch nur unter besonderen Bedingungen, wenngleich diese in Intervallen von Stunden bis zu mehreren Tagen am Ofen immer wieder eintreten. Diese Bedingungen werden als Anodeneffekt bezeichnet. ... Das Gas an der Anode ändert seine Zusammensetzung von CO_2 zu CO und zu 5 bis 20 % CF_4....“ (Winfried Schwarz, 1996) .

Aktivitätsdaten Sekundäraluminium

Der SF_6-Verbrauch wurde durch Befragung der Gasehändler ermittelt, wobei die Abfrage für das Berichtsjahr 2000 ergeben hat, dass die Gasemischung seit dem Jahr 2000 nicht mehr vermarktet wird.

Das seit 1999 wieder verwendete rein eingesetzte SF_6 wurde bei den Anwendern direkt erfragt und mit Daten der Gasehändler abgeglichen.

Seit dem Berichtsjahr 2006 werden die Daten vom Statistischen Bundesamt durch Abfrage der SF_6-Verkaufszahlen des Gasehandels (UStatG 2005) erhoben.

4.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.3)

Primäraluminium - Nebenproduktemissionen

Die Emissionsangaben zu FKW, CO, CO_2 und SO_2 genügen dem Tier 3b Ansatz und werden entsprechend als sehr genau bewertet. Für CO, CO_2 und SO_2 besteht eine Zeitreihenkonsistenz.

Allerdings wurde die anlagenspezifische Anzahl der Anodeneffekte in den Jahren 1991, 1992, 1993 und 1995 im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung nicht erhoben und für diese Jahre keine Berechnung durchgeführt (siehe 4.4.3.6).

Außerdem waren die Jahre 1991 bis 1994 wegen des Verfalls der Weltmarktpreise für Primäraluminium tiefe Krisenjahre für die deutsche Aluminiumindustrie. Aus diesem Grund wurden einige Anlagen stillgelegt. Der Abbau betraf alle Ofentypen, aber am stärksten betroffen waren die kurz zuvor modernisierten Öfen mit Punktdosierungstechnik. Deren Kapazität sank um 43 %, gemessen am Bestand 1990. Dies erklärt auch den kurzfristigen Anstieg bzw. die Stagnation des implizierten Emissionsfaktors für CF_4 in diesen Jahren. Absolut haben die Primärhütten 2007 nur 26 Tonnen CF_4 gegenüber 45 Tonnen in 2005 emittiert. Ursache hierfür ist ein Produktionsrückgang. Gegenüber dem Jahr 2006 ist jedoch eine geringe Produktionssteigerung zu verzeichnen, weil das teilweise Abschalten der Öfen im Werk Stade durch eine Produktionssteigerung am Produktionsstandort Hamburg mehr als ausgeglichen wurde. Im Jahr 2009 führte die Wirtschaftskrise u.a. zu drastischen Produktionseinbrüchen im Rheinwerk Neuss. Aufgrund der schwierigen ökonomischen Situation aller deutschen Primärhütten kam es in der Folgezeit immer wieder zu Prozessinstabilitäten durch häufige An- und Abfahrprozesse. Dies führte zu einer höheren Anzahl von Anodeneffekten und damit zu höheren PFC-Emissionen. Im Jahr 2010 stabilisierte sich die ökonomische Lage merklich. Die Prozesse konnten wieder kontinuierlich und stabil gefahren werden. Dadurch verringerte sich die Anzahl der Anodeneffekte in einem solchem Maße, dass die absoluten PFC-Emissionen trotz der Produktionssteigerung im Vergleich zu 2009 sanken. Dieser Trend setzte sich auch in den Folgejahren fort. Im Jahr 2018 sind die PFC-Emissionen zum ersten Mal seit 2010 wieder leicht angestiegen. In einer Hütte war die technische Umstellung des Anodenformats der Auslöser für einen temporären Anstieg der Anodeneffekte. In einer anderen Hütte führte der niedrige Pegelstand des Rheins (Lieferschwierigkeiten) und die temporäre Stilllegung von Aluminiumoxid-Produktionsstätten dazu, dass zeitweise nur Aluminiumoxid minderer Qualität eingesetzt werden konnte, was ebenfalls die Anzahl der Anodeneffekte erhöhte.

Sekundäraluminium – Verwendung von F-Gasen in Gießereien

Wie Untersuchungen belegen, wird ein Teil des SF_6 bei der Nutzung in der Aluminiumproduktion zersetzt. In der Aluminiumindustrie wurde der Emissionsfaktor auf die maximal gemessenen Emissionen gelegt und nach unten eine Unsicherheit von 50 % angenommen, da die Messungen gezeigt haben, dass die Emissionen häufig auch deutlich geringer sind.

4.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.3)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten für die Primäraluminiumproduktion stützen sich auf Eigenerhebungen der Wirtschaftsvereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.3)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4.4 Metallproduktion: Magnesiumproduktion (2.C.4)

4.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.4)

KC	Category	Activity	EM of	1995 ($kt CO_2$-e.)	(fraction)	2020 ($kt CO_2$-e.)	(fraction)	Trend 1995-2020
-/-	2 C 4, Magnesium Production		SF6	C	C	C	C	C
-/-	2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	0,0	0,0%	8,3	0,0%	-

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
SF_6	D	PS	D
HFC	D	PS	CS

Die Kategorie *SF_6 und HFKW-134a in der Magnesiumproduktion* ist keine Hauptkategorie.

In Deutschland wird kein Primärmagnesium hergestellt. Es werden lediglich Gussteile aus Magnesiumlegierungen produziert.Beim Gießen von Magnesium wurde SF_6 seit Mitte der 1970er Jahre als Schutzgas über der Schmelze eingesetzt, um ihre Oxidation und Entzündung zu verhindern. Die eingesetzte Menge an SF_6 pro Tonne Magnesium (spezifischer SF_6-Koeffizient) hat sich seit 1995 stark reduziert, da es seit 2003 in zunehmendem Maße durch HFKW-134a ersetzt wurde. SF_6 wird sowohl beim Sandgussverfahren zur Fertigung von Prototypen, Einzelteilen und kleinen Serien, als auch beim Druckgussverfahren als Schutzgas eingesetzt.

Die Verwendung von SF_6 im Magnesiumdruckguss ist gemäß Artikel 13 der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase ab dem 01. Januar 2018 auch in kleinen Produktionsanlagen verboten. Bereits seit dem 01. Januar 2008 ist SF_6 als Schutzgas in Magnesium-Druckgießereien mit mehr als 850 kg SF_6-Jahresverbrauch, untersagt. Die vom Verbot betroffenen deutschen Betriebe haben seitdem schrittweise auf den HFKW-134a umgestellt.

4.4.4.2 Methodische Aspekte (2.C.4)

Der Einsatz von SF_6 als Reinigungs- und Schutzgas bei der Magnesiumherstellung ist eine offene Anwendung, d.h. die eingesetzte SF_6–Menge emittiert vollständig beim Gebrauch in die

Atmosphäre. Die Gleichsetzung von Verbrauch (AR) und Emission entspricht der Methode in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 4.5).

Die 2006 IPCC Guidelines enthalten keine Aussagen zum Emissionsfaktor für die Verwendung des HFKW-134a. Daher wurde bisher der verwendete Emissionsfaktor identisch mit der Verwendung von SF_6 in der Magnesiumproduktion gesetzt. Im Jahr 2018 wurde der Emissionsfaktor rückwirkend für die gesamte Zeitreihe auf 50 % gesetzt.

Aus Vertraulichkeitsgründen werden die SF_6-Emissionen aus 2.C.3.b Sekundäraluminium hier mit berichtet.

Emissionsfaktoren

Für die Magnesiumgießereien wird für SF_6 der Default-Emissionsfaktor von $EF_{Anwendung}$ = 100% angenommen, da genauere Daten zu Zersetzungsgraden fehlen.

Ab dem Berichtsjahr 2017 wird der Emissionsfaktor rückwirkend für die gesamte Zeitreihe (also ab 2003) auf 50% gesetzt. Die IPCC Emission Factor Data Base (EFDB) hat 2017 "Destruction rates of cover gas HFC-134a“ in Höhe von 71% und 77%, als nicht-verbindliche Anhaltspunkte für die nationalen Emissionsinventare, aufgenommen. Diese Werte entsprechen Emissionsraten von 29% bzw. 21%. Untersuchungen im Auftrag der US-Umweltbehörde EPA zeigten 2007, dass die Zersetzungsrate von verschiedenen Rahmenbedingungen wie Temperatur der Schmelze, Trägergas, Durchflussmenge des Schutzgases sowie der Konzentration von HFKW-134a abhängig ist. In Ermangelung weiterer Untersuchungen schlagen die Experten daher einen Sicherheitsemissionsfaktor von 50% vor (Gschrey et al., 2018).

Aktivitätsdaten Magnesiumproduktion

Im Jahr 1996 wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes eine Mengenbefragung bei allen inländischen Magnesiumgießereien mit SF_6–Einsatz durchgeführt. Hierbei wurden die Verbrauchsmengen für die Jahre 1990 bis 1995 ermittelt.

Bis zum Berichtsjahr 2007 wurden die verwendeten Mengen direkt bei den Anwendern erfragt. Seit dem Berichtsjahr 2006 werden die Daten durch Abfrage der SF_6-Verkaufszahlen des Gasehandels erhoben. Im Berichtsjahr 2006 erfolgte ein Vergleich beider Methoden.

Seit dem Berichtsjahr 2007 werden die Daten des Statistischen Bundesamtes (UStatG 2005) verwendet.

4.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.4)

Wie Untersuchungen belegen, wird ein Teil des SF_6 und HFKW-134a bei der Nutzung in der Magnesiumproduktion zersetzt. Daher werden die Emissionen von SF_6 sowie auch noch teilweise bei dem HFKW-134a durch die Annahmen zu den Emissionsfaktoren wahrscheinlich überzeichnet.

4.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.4)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Der Emissionsfaktor für SF_6 entspricht dem Default-Emissionsfaktor der 2006 IPCC Guidelines(IPCC, 2006b) und der Emissionsfaktor für den

HFKW-134a liegt zur Absicherung aller Emissionen über dem in der IPCC Emission Factor Data Base (EFDB)enthaltenen.

4.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.4)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4.5 Metallproduktion: Blei (2.C.5)

4.4.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.5)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 C 5, Lead Production		CO_2	157,9	0,0%	73,6	0,0%	-53,4%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1	AS	D/CS

Die Kategorie *Metallproduktion: Blei* ist keine Hauptkategorie.

Die Bleiproduktion erfolgt in Deutschland aus primären Bleikonzentraten und sekundären Vorstoffen wie bleihaltigen Schrotten oder Blei-Säure-Batterien.

Die Primärbleiproduktion erfolgt in Deutschland ausschließlich durch das Direktschmelzverfahren (DS) im Badschmelzofen (Isasmelt-Ausmelt) oder im QSL-Reaktor. Prozessbedingte CO_2-Emissionen entstehen maßgeblich durch die Zugabe von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln (z.B. Kohlenstaub). Das Imperial Smelting Verfahren (ISF) wird in Deutschland nicht mehr angewendet.

Die Sekundärbleiproduktion in Deutschland wird maßgeblich durch die Aufbereitung von Blei-Säure-Batterien bestimmt. Dabei kommt entweder der Kurztrommelofen- oder der Schachtofenprozess zum Einsatz. Prozessbedingte CO_2-Emissionen entstehen maßgeblich durch die Zugabe von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln(z.B. Koks).

Die Aktivitätsraten werden dem Umweltbundesamt jährlich durch die WirtschaftsVereinigung Metalle übermittelt.

4.4.5.2 Methodische Aspekte (2.C.5)

Die verwendeten **Emissionsfaktoren** entstammen den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC (2006b): Werte aus Table 4.21) und entsprechen der Tier 1 Methodik. In Deutschland existieren nur das Direktschmelzverfahren (DS) zur Primärbleiproduktion sowie das Sekundärproduktionsverfahren (S).

4.4.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.5)

Es werden Default-Unsicherheiten der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006b) verwendet.

4.4.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.5)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.5.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.5)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten stützen sich auf vertrauliche Eigenerhebungen der WirtschaftsVereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.5)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4.6 Metallproduktion: Zink (2.C.6)

4.4.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.6)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 C 6, Zinc Production		CO_2	670,8	0,1%	284,3	0,0%	-57,6%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1	AS	D

Die Kategorie *Metallproduktion: Zink* ist keine Hauptkategorie.

Die Zinkproduktion erfolgt in Deutschland aus primären Zinkkonzentraten und sekundären Vorstoffen wie zinkhaltigen Schrotten oder Stahlwerksstäuben.

Die Primärzinkproduktion erfolgt in Deutschland ausschließlich durch das hydrometallurgische Verfahren. Das pyrometallurgische Imperial Smelting Verfahren (ISF) wird nicht angewendet.

Prozessbedingte Treibhausgasemissionen entstehen in Deutschland vorrangig bei der Sekundärzinkproduktion. Durch die Nutzung von Koks als Reduktionsmittel entstehen vor allem bei der Aufbereitung von zinkhaltigen Sekundärmaterialien im Wälzofen prozessbedingte CO_2-Emissionen.

Die Aktivitätsraten werden dem Umweltbundesamt jährlich durch die WirtschaftsVereinigung Metalle übermittelt.

4.4.6.2 Methodische Aspekte (2.C.6)

Es wird der CO_2-**Emissionsfaktor**der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC (2006b): Default-Faktor) verwendet. Dies entspricht der Tier 1 Methodik.

4.4.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.6)

Es werden Default-Unsicherheiten der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006b) verwendet.

4.4.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.6)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.6.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.6)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten stützen sich auf vertrauliche Eigenerhebungen der WirtschaftsVereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.6)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.4.7 Metallproduktion: Sonstige (2.C.7)

Da die CRF-Reporter-Software eine Zuordnung von Lachgasemissionen unter 2.C.1 nicht ermöglicht, werden diese Emissionen stattdessen unter 2.C.7 berichtet. Ansonsten werden in Kategorie 2.C.7 keine Treibhausgasemissionen berichtet; die Kategorie ist nur für andere Schadstoffemissionen relevant.

4.4.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.7)

Die unter 2.C.7 berichteten Lachgasemissionen resultieren aus dem Einsatz von Hochofen- und Konvertergas in den Winderhitzern der Hochöfen (Quellgruppe 2.C.1).

Unter diese Kategorie fällt in Deutschland vor allem die Produktion von Kupfer und die Feuerverzinkung. Die beim Feuerverzinken entstehenden Treibhausgasemissionen stammen jedoch ausschließlich aus Prozessfeuerungen und werden folglich unter 1.A.2 berichtet.

Der Hauptteil der Treibhausgasemissionen aus der Kupferindustrie stammt ebenfalls aus Prozessfeuerungen und wird unter 1.A.2.b berichtet.Die Prozessemissionen aus der Feuerraffination im Anodenofen werden ebenfalls unter 1.A.2.b berichtet, da das hierfür eingesetzte Reduktionmittel Erdgas in der Statistik des produzierenden Gewerbes nicht getrennt von den Prozessfeuerungen erfasst wird. Die nicht aus Prozessfeuerungen stammenden Treibhausgasemissionen sind zudem vergleichsweise sehr gering.

4.4.7.2 Methodische Aspekte (2.C.7)

Die Berechnung der eigentlich 2.C.1 zuzuordnenden Lachgasemissionen erfolgt auf der Basis der statistischen Angaben zum Einsatz von Hochofen- und Konvertergas in den Winderhitzern der Hochöfen sowie eines Emissionsfaktors für Feuerungsanlagen in Deutschland, der im Rahmen eines Forschungsprojekts des UBA (Rentz et al., 2002) ermittelt wurde.

Für andere Treibhausgasemissionen aus 2.C.7 sind keine Emissionfaktoren vorhanden.

4.4.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.7)

Keine Angaben.

4.4.7.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.7)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.7.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.7)

Die Aktivitätsraten stützen sich auf vertrauliche Eigenerhebungen der WirtschaftsVereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.7)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.5 Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln (2.D)

4.5.1 Anwendung von Schmiermitteln (2.D.1)

4.5.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 D 1, Lubricant Use		CO_2	188,6	0,0%	182,0	0,0%	-3,5%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie *Anwendung von Schmierstoffen* ist für CO_2-Emissionen keine Hauptkategorie.

Schmierstoffe sollen die Reibung und Beanspruchung bei sich bewegenden Maschinenteilen vermindern. Dabei können sie auch zur Kraft- oder Wärmeübertragung genutzt werden. Auch das Dichten, das Vermeiden von Ablagerungen und der Korrosionsschutz können Anforderungen an Schmierstoffe sein. Die ebenfalls als Schmierstoffe betrachteten Prozessöle werden zudem entweder als Rohstoff- oder als Hilfs- und Betriebsstoff angewendet. Darüber hinaus gibt es noch andere Industrieöle, die auch nicht zum Schmieren eingesetzt werden.

Der Verbrauch an Schmierstoffen in Deutschland ist, abgesehen von einem konjunkturell bedingten Einbruch im Jahr 2009 seit 1990 relativ konstantgeblieben.Im Jahr 2020 betrug der Verbrauch ohne mobile Anwendungen 457.013 kt und lag damit rund 30% niedriger als in den Jahren zuvor.

4.5.1.2 Methodische Aspekte (2.D.1)

Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden erfolgt eine Unterteilung des Schmierstoffeinsatzes in Kraftfahrzeugen einschließlich anderer mobiler Quellen und in der Industrie.

Innerhalb des deutschen Treibhausgas-Inventars werden für sämtliche mobile Quellen CO_2-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung erfasst. Gemäß den Anforderungen an die Emissionsberichterstattung werden dabei auf Zweitakt-Ottomotoren entfallende Emissionen direkt der jeweiligen Emissionsquelle zugeordnet, da hier der Schmierstoff als Teil des Kraftstoffes (Zweitakter-Gemisch) betrachtet wird. Die Beschreibung der diesbezüglichen Berechnungsmethoden erfolgt in Kapitel 19.1.4. Alle nicht von Zweitaktern verursachten Mitverbrennungs-Emissionen werden dagegen als Produktanwendung betrachtet und

zusammen mit den Emissionen aus der stationären Schmierstoffanwendung im industriellen Bereich unter 2.D.1 berichtet.

stationäre Schmierstoffanwendung

Für den Schmierstoffeinsatz in der Industrie werden als Aktivitätsraten die Inlandsablieferungen (Einheit: Tonnen) aus der Statistik „Amtliche Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland“ (Mineralölstatistik) des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) verwendet (Tabelle 10j). In der Statistik wird zwischen folgenden Schmierstoff-Sortengruppen unterschieden:

- Kompressorenöle
- Turbinenöle
- Getriebeöle
    - KFZ
    - ATF
    - Industriegetriebeöle
- Hydrauliköle
- Elektroisolieröle
- Maschinenöle
- Andere Industrieöle nicht zum Schmieren
- Prozessöle
- Metallbearbeitungsöle
    - Härteöle
    - Wassermischbare
    - Nicht-wassermischbare
    - Korrosionsschutzöle
- Schmierfette
    - Darunter für KFZ
- Basisöle
- Extrakte aus der Schmierölraffination

Für diese Sortengruppen werden vom BAFA regelmäßig (monats- und jahresspezifische) Absatzzahlen veröffentlicht. Die Zahlen basieren auf Meldungen von Unternehmen. Die meldenden Unternehmen können in der sogenannten Erhebungskreisliste[73] eingesehen werden.

In den 2006 IPCC Richtlinien wird nicht konkretisiert, welche Emissionsquellen bei der Schmierstoffanwendung berücksichtigt werden müssen. Es können Verluste auf der Inputseite (Befüllung), während der Nutzung und auf der Outputseite (Entnahme) auftreten. Um hier Klarheit zu schaffen und die Genauigkeit der Emissionsberechnung zu erhöhen, wurde ein Sachverständigengutachten in Auftrag gegeben (Zimmermann & Jepsen, 2018). In dem Vorhaben wurden die Sortengruppen einzeln betrachtet und Emissionsfaktoren hergeleitet, die eine Tier2-Methode ermöglichen. Das Gutachten konnte belegen, dass bei den verschiedenen Schmierstoffsortengruppen diverse Arten von Verlusten auftreten, die jedoch nur zum Teil zu Emissionen in die Luft führen.

Typische Verluste auf der Inputseite, also bei der Befüllung am geplanten Einsatzort (d.h. beispielsweise Befüllung KFZ-Motor, Getriebe, Maschinen (-teile)) sind:

- Tropfverluste und sonstige durch das Handling bedingte Verluste sowie

73 http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_erhebungskreisliste.xls;jsessionid=8F5CC4170FEBCC89A69DE21218062873.2_cid378?__blob=publicationFile&v=4

- Restanhaftungen in Gebinden

Mögliche Verluste in der Nutzung sind vielfältig. Sie umfassen:

- Verdampfung
- (Mit-) Verbrennung
- Leckagen
- Export (Betrifft insbesondere Schmierstoffe im KFZ)
- Umwandlung in Produkte
- Anhaftung an Produkten

Auf der Outputseite, bei der Entnahme gebrauchter Schmierstoffe, können folgende Verluste auftreten:

- Tropfverluste und sonstige durch das Handling bedingte Verluste sowie
- Restanhaftungen am Einsatzort

In Bezug auf *gasförmige* Emissionen besonders relevant sind die Freisetzung von Treibhausgasen aus der (Mit-)Verbrennung der Schmierstoffe sowie die Bildung von VOC infolge von Leckagen oder offenen Anwendungen in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden Anwendungsbedingungen (insbesondere Temperatur).

Auf Basis der in dem Vorhaben durchgeführten Analysen konnten folgende auf Sortengruppen bezogene Emissionsfaktoren abgeleitet werden:

Tabelle 187: sortengruppenspezifische Emissionsfaktoren für Schmierstoffe, in Prozent

Sortengruppe	Anteilsspanne am Gesamtabsatz ab 1990	NMVOC		
		Ø	*Min*	*Max*
Kompressorenöle	≤ 1 %	1,5 %	*1 %*	*2 %*
Turbinenöle	< 1 %	0,5 %	*0 %*	*1 %*
Kfz-Getriebeöle	5-10 %	1 %	*0 %*	*2 %*
Industriegetriebeöle	2-3 %	1,5 %	*1 %*	*2 %*
Hydrauliköle	6-15 %	1,5 %	*1 %*	*2 %*
Maschinenöle	1-7 %	2,5 %	*0 %*	*5 %*
andere Industrieöle, nicht zum Schmieren	2-7 %	25 %	*0 %*	*50 %*
Metallbearbeitungsöle	5-9 %	5 %	*0 %*	*10 %*
Basisöle	4-16 %	10 %	*5 %*	*15 %*
Elektroisolieröle	1-2 %			
Prozessöle	4-20 %			
Schmierfette	2-4 %			
Extrakte aus der Schmierstoffraffination	≤ 5 %			

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen erfolgt nach einer Tier 2-Methode, bei der die Emissionsfaktoren auf die gesamte Zeitreihe angewendet werden.

Die NMVOC-Emissionen werden in CO_2-Emissionen umgerechnet, um konform mit den 2006 IPCC Guidelines und der Emissionsberichterstattung der EU zu sein. Dazu wird der gleiche Kohlenstoffgehalt zugrundegelegt, wie für 2.D.3 beschrieben.

Für die Berichterstattung von Luftschadstoffen im *Informative Inventory Report* (IIR) werden die NMVOC-Emissionen unter 2.D.3.i allokiert.

1995 wurden Kategorien in der Mineralölstatistik umgestellt. Drei Sortengruppen, die ab 1995 aufgeführt wurden, gab es vor 1995 in der Mineralölstatistik noch nicht, wohingegen vier andere Kategorien geführt wurden. Dies erfordert eine leichte Anpassung des Vorgehens für die Jahre 1990-1994. In folgender Tabelle sind die betroffenen Kategorien der Jahre 1990-1994 sowie der Umgang mit ihnen in der Berechnung dargestellt.

Tabelle 188: Umgang mit Kategorien der BAFA-Statistik 1990-1994

Kategorie	Anmerkung zum Vorgehen	Emissionsfaktor
Sonstige Schmieröle, spezialisiert Sonstige Schmieröle, unspezialisiert	Es erfolgt eine Berücksichtigung analog zur 1990-1994 fehlenden Sortengruppe „Maschinenöle“, welche verschiede spezialisierte und unspezialisierte Schmieröle umfasst.	2,5 %
Sonstige mineralische Öle für besondere Anwendungszwecke	Diese Kategorie umfasst keine Öle zum Schmieren. Es erfolgt eine Berücksichtigung analog zu 1990-1994 fehlenden Kategorie „Andere Industrieöle nicht zum Schmieren“.	25 %
Helle Weichmacher und Extenderöle	Extenderöle und Weichmacher sind den Prozessölen zuzuordnen. Es erfolgt eine entsprechende Berücksichtigung.	0 %

mobile Schmiermittelanwendung

Da hinsichtlich der Schmierstoff-Mitverbrennung in Viertakt-Ottomotoren sowie sonstigen Motoren in mobilen Quellen nur unvollständige Daten zu insgesamt eingesetzten Schmierstoffmengen vorliegen, werden die mitverbrannten Mengen weitestgehend auf Basis von Angaben des *Verbandes der Schmierstoff-Industrie e. V.* (VSI) aus den eingesetzten Kraftstoffmengen berechnet Wallfarth (2014).

Gemäß Wallfarth (2014) werden in den verschiedenen Einsatzbereichen folgende auf die jeweils eingesetzten Kraftstoffmengen bezogenen Mitverbrennungsanteile erreicht:

Tabelle 189: Übersicht der verwendeten spezifischen Mitverbrennungsanteile

Sektor	Kraftstoff	Anteil	Quelle / Anmerkung
1.A.2.g vii	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,10 %	
1.A.3.a, 1.D.1.a, 1.A.5.b ii	Ke & FB	0,01 %	Flugbenzin: analog zu Kerosin
1.A.3.b	alle	-	Berechnung anhand TREMOD
1.A.3.c	DK	0,05 %	
1.A.3.d, 1.D.1.b. 1.A.4.c iii, 1.A.5.b iii	DK & HOS	0,15 %	Schweröl: analog zu Diesel
1.A.4.a ii	DK	0,10 %	analog zu 1.A.3.b
	LPG	0,10 %	analog zu 1.A.3.b
1.A.4.b ii	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
1.A.4.c ii (i)	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,10 %	analog zu 1.A.3.b
1.A.4.c ii (ii)	DK	0,10 %	analog zu 1.A.3.b
1.A.5.b i	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,15 %	analog zu 1.A.3.d: Berücksichtigung schwere Panzerfahrzeuge
	HOS	0,15 %	analog zu Diesel

OK: Ottokraftstoffe (inkl. Bioethanol), nur Viertakter; DK: Dieselkraftstoffe (inkl. Biodiesel), Ke: Kerosin; FB: Flugbenzin; HOS: Schweröl; LPG: Flüssiggas

Anhand der in den einzelnen Sektoren in Nicht-Zweitaktern eingesetzten Energiemengen und der oben genannten Mitverbrennungsanteile werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe ermittelt, aus denen wiederum über den einheitlichen Emissionsfaktor von 73.300 kg CO_2 / TJ die sektorspezifischen Kohlendioxid-Emissionen aus der unbeabsichtigten Schmierstoff-Mitverbrennung berechnet werden.

Tabelle 190: Kohlendioxid aus unbeabsichtigt in mobilen Nicht-Zweitaktmotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.A.2.g vii	3,52	3,32	3,27	2,80	3,01	3,38	3,50	3,59	3,34	3,37	3,49
1.A.3.a	0,24	0,21	0,26	0,25	0,23	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,10
1.A.3.b	86,10	103,99	114,47	117,60	121,29	128,85	130,71	132,31	132,95	134,05	118,53
1.A.3.c	1,41	1,14	0,93	0,68	0,57	0,51	0,53	0,44	0,37	0,42	0,40
1.A.3.d	4,43	3,58	2,38	2,34	2,05	2,46	2,25	2,11	2,23	2,33	2,07
1.A.4.a ii	0,78	0,73	0,80	0,79	0,79	0,76	0,79	0,80	0,76	0,75	0,76
1.A.4.b ii	hier nur Einsatz von Ottokraftstoff-Zweitaktern										
1.A.4.c ii	3,90	3,27	3,06	2,96	3,32	3,78	3,94	4,06	3,80	3,85	4,01
1.A.4.c iii	0,20	0,10	0,15	0,18	0,20	0,23	0,22	0,23	0,26	0,28	0,34
1.A.5.b i	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
1.A.5.b ii	1,65	0,88	0,15	0,38	0,12	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02
1.A.5.b iii	0,28	0,12	0,07	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02
Summe	103	117	126	128	132	140	142	144	144	145	**130**
1.D.1.a	1,19	1,50	1,92	2,28	2,42	2,46	2,65	2,90	2,99	2,96	1,36
1.D.1.b	9,91	8,26	8,88	10,45	11,83	10,09	11,83	9,47	6,68	5,15	5,07

Quelle: eigene Berechnungen

4.5.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.1)

Die Unsicherheiten der sortengruppenspezifischen Emissionsfaktoren für die industriellen Schmierstoffanwendungen ergeben sich aus den Spannbreiten der Emissionsfaktoren in Tabelle 187.

Für die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden durch Expertenschätzung im Rahmen des Gutachtens aufgrund von ausgewerteten Fehlmeldungen in der Mineralölstatistik 5 % angenommen.

Durch die Änderung der Sortenaufteilung 1995 in der Mineralölstatistik sind keine Auswirkungen auf die erfassten Schmierstoffmengen erkennbar. Dadurch erfolgte lediglich eine Neuzuordnung von Schmierstoffen aus Kategorien für nicht spezifizierte Anwendungen zu Kategorien für spezifizierte Anwendungen. Die Emissionen der Jahre 1990-1994 können dadurch zwischen 5 und 25% zu hoch berechnet sein.

4.5.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.1)

Für die *stationären* Schmierstoffanwendungen erfolgten Rückrechnungen bis einschließlich 1990 um Kfz-Getriebeöle mit zu berücksichtigen. Die Zuordnung zu den stationären Schmierstoffanwendungen erfolgt, weil keine Mitverbrennung des Schmierstoffes auftritt.

Tabelle 191: revidierte Mengen stationär eingesetzter Schmiermittel, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	729	752	752	692	728	781	760	770	739	731
Submission 2021	668	688	686	619	669	694	663	671	636	629
Änderung absolut	61,2	63,9	66,0	72,8	58,9	87,2	96,5	99,4	103	103
Änderung relativ	9,16%	9,28%	9,62%	11,8%	8,80%	12,6%	14,6%	14,8%	16,3%	16,3%

Quelle: eigene Berechnungen

Da besagte Getriebeöle nur in sehr geringem Umfang verdampfen, fällt die Änderung der CO_2-Emissionen aus der gesamten stationären Anwendung deutlich geringer aus als die der Aktivitätsdaten.

Tabelle 192: revidierte CO_2-Emissionen aus stationärer Anwendung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	86,0	63,0	65,7	58,8	62,0	78,1	82,0	89,4	82,3	80,6
Submission 2021	84,7	61,6	64,2	57,2	60,7	76,1	79,9	87,2	80,0	78,4
Änderung absolut	1,35	1,41	1,45	1,60	1,29	1,92	2,12	2,19	2,27	2,26
Änderung relativ	1,59%	2,28%	2,26%	2,80%	2,13%	2,52%	2,66%	2,51%	2,84%	2,88%

Für die *mobilen* Schmierstoffanwendungen kam es gegenüber Submission 2021 zu einer Revision der ungewollt mitverbrannten Schmierstoffmengen.

Tabelle 193: revidierte ungewollt mitverbrannte Mengen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	1.400	1.602	1.714	1.747	1.796	1.914	1.941	1.963	1.965	1.983
Submission 2021	1.413	1.611	1.723	1.754	1.802	1.922	1.945	1.974	1.973	1.993
Änderung absolut	-13,3	-9,01	-9,43	-7,35	-5,99	-8,05	-3,99	-10,8	-8,07	-9,77
Änderung relativ	-0,94%	-0,56%	-0,55%	-0,42%	-0,33%	-0,42%	-0,21%	-0,55%	-0,41%	-0,49%

Quelle: TREMOD und TREMOD MM

Die CO_2-Emissionen aus dieser ungewollten Mitverbrennung wurden entsprechend angepasst.

Tabelle 194: revidierte CO_2-Emissionen aus ungewollter Mitverbrennung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	103	117	126	128	132	140	142	144	144	145
Submission 2021	104	118	126	129	132	141	143	145	145	146
Änderung absolut	-0,98	-0,66	-0,69	-0,54	-0,44	-0,59	-0,29	-0,79	-0,59	-0,72
Änderung relativ	-0,94%	-0,56%	-0,55%	-0,42%	-0,33%	-0,42%	-0,21%	-0,55%	-0,41%	-0,49%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Gesamtmenge der aus den freigesetzten NMVOC berechneten Kohlendioxid-Emissionen (stationäre Schmierstoffanwendungen) und den Kohlendioxid-Emissionen aus unbeabsichtigter Mitverbrennung (mobile Anwendungen) hat sich wie folgt geändert:

Tabelle 195: revidierte CO_2-Emissionen aus stationärer und mobiler Anwendung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	188,6	180,4	191,2	186,8	193,6	186,6	195,3	199,8	225,6	218,4
Submission 2021	188,3	179,7	190,5	185,8	192,8	185,6	194,2	198,5	224,3	217,0
Änderung absolut	0,31	0,70	0,73	1,04	0,83	1,05	1,13	1,31	1,30	1,31
Änderung relativ	0,17%	0,39%	0,38%	0,56%	0,43%	0,57%	0,58%	0,66%	0,58%	0,60%

Quelle: eigene Berechnungen; stationäre Anwendung: indirektes CO_2, berechnet aus freigesetztem NMVOC

4.5.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.1)

Für die stationäre Anwendung: Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für die mobile Anwendung: Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Mit dem Standard-Emissionsfaktor aus den 2006 IPCC Richtlinien kann nicht zwischen Anwendungen in denen durch Mitverbrennung von Schmierstoffen überwiegend CO_2-Emissionen entstehen und Anwendungen die hauptsächlich zu NMVOC-Emissionen führen unterschieden werden. Die CO_2-Emissionen aus der industriellen Anwendung von Schmierstoffen würden sich mit einer Tier 1 Methode verdoppeln.

Weitergehende Qualitätskontrollen wurden im zuvorgenannten Gutachten durchgeführt und auch im NIR 2021 im Abschnitt 4.5.1.5 beschrieben.

4.5.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.5.2 Anwendung von Paraffinwachsen (2.D.2)

4.5.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 D 2, Paraffin Wax Use		CO_2	242,7	0,0%	452,5	0,1%	86,4%
-/-	2 D 2, Paraffin Wax Use		N_2O	0,7	0,0%	1,3	0,0%	86,4%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1	NS	D
N_2O	Tier 1	NS	D

Die Kategorie *Anwendung von Paraffinwachsen* ist keine Hauptkategorie.

Die wesentliche Anwendung von Wachsen erfolgt in Kerzen, daneben stellen noch Verpackungen und synthetisches Holz sowie Heißklebstoffe bedeutende Anwendungsgebiete dar.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens (Zimmermann & Jepsen, 2018) konnte durch Befragung von Branchenexperten die Annahme bestätigt werden, dass außer Kerzen keine anderen

Wachsanwendungen für die Emissionsberichterstattung relevant sind, weil außer beim Kerzenabbrand unter den Anwendungsbedingungen mit keinen Emissionen zu rechnen ist. Es werden darum im Inventar weiterhin nur die Wachsanwendungen in Kerzen berücksichtigt. In dem Forschungsvorhaben wurden auch zwei Studien aus den Jahren 2002 und 2010 ausgewertet, die die Anteile nachwachsender Rohstoffe in Kerzen auf 15 % (Matthäi & Petereit, 2004) bzw. 22 % (Matthäi et al., 2010) beziffern. Die nachwachsenden Rohstoffe umfassen neben Bienenwachs (2 %) auch pflanzliche und tierische Fette (12 %) sowie Stearine (8 %), die vorrangig aus Palmölen gewonnen werden.

Deutschland ist ein bedeutender Markt für Kerzen innerhalb der Europäischen Union. 2016 belief sich der Marktanteil auf knapp 27 % (European Candle Association, 2017) Im Gegensatz zum europäischen Trend wuchs der Bedarf in Deutschland von 1990 bis 2013. Der zunehmende Bedarf wurde durch Importe gedeckt. Seit 2013 sinkt die Produktion deutlich und wird nicht durch steigende Importe aufgefangen.

4.5.2.2 Methodische Aspekte (2.D.2)

Dem Berechnungsmodell liegen die Annahmen zugrunde, dass alle Kerzen innerhalb eines Jahres verbraucht und vollständig verbrannt werden.

Die Berechnungen der CO_2 und N_2O-Emissionen erfolgen nach einer Tier 1 Methode.

Aktivitätsraten

Die Produktionsmengen sowie die Import- und Exportmengen an Kerzen für die Jahre ab 1996 entstammen dem Statistischen Bundesamt (Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1), Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe sowie der Außenhandelsstatistik).

Die Berechnung der Verbrauchsmenge erfolgt gemäß Produktion + Import – Export. Für die Bestimmung der CO_2-Emissionen wird noch ein fester biogener Anteil von 15% abgezogen, wohingegen die N_2O-Emissionen auch den biogenen Anteil umfassen. Die Verrbauchsmenge im Jahr 2020 betrug 180.657,5 t Wachs inkl. biogenem Anteil.

Für die Jahre 1990 bis 1995 erfolgt die Berechnung der Verbrauchsmenge über den ProKopf-Verbrauch, der aus den Jahren 1996 bis 2013 abgeleitet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch in diesen Jahren der Verbrauch linear gestiegen ist.

Emissionsfaktoren

Der Emissionsfaktor für CO_2 beträgt 2,9467 t/t Produkt und für N_2O 0,024 kg/t Produkt.

Zur Herleitung der Emissionsfaktoren, die auf die gesamte Zeitreihe angewendet werden, wurde auf Standardwerte zurückgegriffen (IPCC (2006b): Vol. 2 Chapter 1 table 1.2 und IPCC, 2006: Vol. 2, Ch. 2 Tab. 2.4).

4.5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.2)

Da eine Tier 1 Methode mit Standardwerten der 2006 IPCC Guidelines angewendet wird, gelten auch die entsprechenden Unsicherheiten für Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (IPCC (2006b): Vol. 3, Ch- 5).

Aufgrund des festen biogenen Anteils für alle Jahre wird die Unsicherheit für die Aktivitätsrate auf +30%/-10% geschätzt.

4.5.2.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.2)

Für 2019 war eine Korrektur der CO_2 und N_2O-Emissionen notwendig, da sich Anpassungen der Außenhandelsstatistik ergaben. Die Anwendungsmengen stiegen aber nur um 0,06 % für das

Jahr und dementsprechend auch die CO_2- und N_2O-Emissionen. Durch Ausgleich von Rundungsdifferenzen kam es rückwirkend für die Jahre bis 1990 zusätzlich zu Änderungen bis 0,00006 %. Auf eine tabellarische Darstellung wird aufgrund der Geringfügigkeit der Änderungen verzichtet.

4.5.2.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.2)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der Import-, Export- und Produktionsmengen als Grundlage zur Verifikation der Verbrauchsmengen stehen national außer den von Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Quellen zur Verfügung. Soweist die amtliche Mineralölstatistik die Anwendung in Kerzen nicht extra aus. Und der europäische Kerzenverband ECA (european candle association) greift auf die Daten von EUROSTAT zurück. Ein Vergleich mit den Daten von EUROSTAT wurde durchgeführt.

Ein Vergleich mit den Berechnungsmethoden anderer Länder wurde im Rahmen der Berichterstattung 2018 durchgeführt. Unterschiede konnten nur in der Erfassung der Wachsmengen festgestellt werden.

4.5.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.5.3 Sonstige: Lösemittel - NMVOC (2.D.3 Lösemittel)

4.5.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Lösemittel)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	2 D 3, Other		CO_2	2.551,1	0,2%	1.263,3	0,2%	-50,5%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	D	NS	D
NMVOC	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie indirektes CO_2 aus NMVOC-Emissionen aus dem Bereich *Lösemittel und andere Produktverwendung* (CRF 2.D.3) ist aufgrund der Einordnung der übergeordneten Kategorie *2.D.3 - Weitere* keine Hauptkategorie.

Die aus dem Gebrauch von Lösemitteln oder aus der Anwendung lösemittelhaltiger Produkte freigesetzten NMVOC-Emissionen entstammen allen Subgruppierungen dieser Quellgruppe.

Um der sehr heterogenen Struktur dieser Kategorie bei der Datenermittlung besser gerecht zu werden, werden für die Berechnung der Inventardaten die UNECE/EMEP Substrukturen verwendet, die auf der CORINAIR97 (CORINAIR: COordination d' INformation Environmentale; Teilprojekt AIR) SNAP-Systematik[74] basieren.

[74] hier in der Detaillierung des sogenannten SNAP Level 3

Für die Kategorien 2.D.3.a, d, e, f, g, h, i werden folgende Anwendungen bzw. Aktivitäten einbezogen:

2.D.3.a: Häusliche Verwendung von Lösemitteln inklusive Fungizide

i) Häusliche Verwendung von Lösemitteln

- **Seifen**
- **Waschmittel, Spülmittel und Reiniger** (Weichspüler; Universalwaschmittel; Waschmittel; Waschhilfsstoffe; Geschirrspülmittel; Reinigungsmittel für Fußbodenbeläge und Teppiche; Autowaschmittel; Fensterputzmittel; WC-Reinigungsmittel);
- **Schuhcreme, Schuh- und Lederpflegemittel, Möbel- und Bohnerwachs; Lackpflegemittel für Autos**
- **Zubereitungen zum Polieren von Metall**
- **Duftstoffe** (für Räume, Parfüme, Toilettenwässer, Aftershaves)
- **Kosmetika und Schminkmittel** (Make-up; Zubereitungen zur Hand-, Nagel- und Fußpflege; Gesichtspflegemittel; Körperpflegemittel; Sonnenschutzmittel und andere Zubereitungen)
- **Haarwaschmittel und Haarpflegeprodukte** (Shampoos; Dauerwell- und Entkrausungsmittel; Haarsprays; Haarcremes und Brillantine; Tönungsshampoo, Haarfärbemittel, Haarbleichmittel und andere Pflegeprodukte)
- **Andere persönliche Pflegeprodukte** (Rasiercremes; Körperdesodorierungs- und Antitranspirationsmittel; Badeessenzen; Zubereitungen zur Körperintimpflege, Haarentfernungsmittel, Schönheitsmittel und anderes)
- **Kfz-Frostschutz**

ii) Häusliche Verwendung von pharmazeutischen Produkten

2.D.3.d: Anwendung von Farben und Lacken

i) Dekorative Farben und Lacke, Bautenanstrichmittel

- **Kfz-Reparatur**
- **Professionelle Anwendungen von Farben und Lacken in Konstruktionen und Gebäuden** (Dispersionsfarben innen; Fassadenfarben / Silikat; Kunstharzputze / Silikat; Bautenlacke / Lasuren; Grundierungen / Überzüge; andere Anwendungen)
- **Do-it-yourself Anwendungen von Farben und Lacken in Konstruktionen und Gebäuden** (Dispersionsfarben innen; Fassadenfarben / Silikat; Kunstharzputze / Silikat; Bautenlacke / Lasuren; Grundierungen / Überzüge; andere Anwendungen)
- **Holzbeschichtungen** (Holzinnenausbau; Schreinerarbeiten)

ii) Industrielle Beschichtungen

- **Kfz-Herstellung** (Grundierung, Füller, Deck- und Klarlacke)
- **Kfz-Reparatur von Nutzfahrzeugen und sonstigen Fahrzeugen**
- **Spulenbeschichtung**
- **Beschichtungen im Schiffsbau**
- **Holzbeschichtungen** (Möbel)
- **Andere industrielle Beschichtungen** (Lackspray (ohne Treibgas); Elektro / Haushalt; Maschinenbau; Autozubehör / Metall; Metallwaren, Blechemballagen; Drahtlacke; Tränk- und Gießmittel; Bauelemente ohne Bandbeschichtung; Kunststoffe; Papier / Folie; Übrige Verarbeitung)

iii) Andere nichtindustrielle Farbbeschichtungen
(Markierungsfarben; Korrosionsschutz; Anderes)

2.D.3.e Entfettung

- **Metallentfettung**
- **Herstellung von Elektronikkomponenten**
- **Andere industrielle Reinigung** (Feinmechanik, Optik, Herstellung von Uhren)

2.D.3.f Chemische Reinigung

- **Chemische Reinigung**

2.D.3.g Herstellung und Verarbeitung von chemischen Produkten

- **Verarbeitung von Polyester**
- **Verarbeitung von Polyvinylchlorid**
- **Verarbeitung von Polyurethan**
- **Verarbeitung von Polystyrolschaum**
- **Gummi-Verarbeitung** (Reifenherstellung)
- **Herstellung von pharmazeutischen Produkten**
- **Herstellung von Farben und Lacken**
- **Herstellung von Druckfarben und Tinten**
- **Herstellung von Klebstoffen**
- **Herstellung von Haftmaterialien, Magnetbändern, Filmen und Fotografien**
- **Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten**
    - Herstellung von Holzschutzmitteln
    - Herstellung von Baustoffadditiven
    - Herstellung lösemittelhaltiger Konsumgüter
    - Herstellung von Oberflächenreinigungsmitteln
    - Herstellung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln
    - Herstellung von Be- und Entwachsungsmitteln
    - Herstellung von Abbeizmitteln
- **Behandlung von Bitumen (asphalt blowing)**

2.D.3.h Druckindustrie-Druckanwendungen

- Coldset-Offsetdruck (Zeitungsdruck)
- Bogenoffsetdruck (konventionell, UV-basiert)
- Heatset-Offsetdruck
- Endlos-Offsetdruck
- Buchdruck
- Verpackungs-Flexodruck (lösemittelbasiert, wasserbasiert)
- Verpackungs-Tiefdruck (lösemittelbasiert, wasserbasiert)
- Illustrationstiefdruck
- Siebdruck
- Andere Druckanwendungen
- Farben für Kunstmaler in Zusammenstellungen
- Farben für Kunstmaler, nicht in Zusammenstellungen
- Tinte und Tusche zum Schreiben oder Zeichnen u. ä., auch konzentriert oder in fester Form (ohne Druckfarben)

2.D.3.i: Andere Anwendungen

- **Behandlung von Glas- und Mineralwolle**
- **Extraktion von Ölen und Fetten**
- **Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien** (Papier und Verpackung; Bau, Holz; Transport; Schuhe; Heimwerkeranwendungen; anderes)
- **Anwendung von Holzschutzmitteln**
- **Anwendung von Unterbodenschutz und Fahrzeugkonservierung**
- **Entwachsen von Fahrzeugen**
- Sonstige
    - Verwendung von Pflanzenschutzmitteln
    - Abbeizen mit Dichlormethan
    - Entlackung (fehlbeschichtete Aluminiumteile, Stahlteile und Stahlgehänge)
    - Betonzusatzmittel
    - Enteisung (Flugzeuge; Betriebsflächen; Sonstiges)
    - Wissenschaftliche Laboratorien

Auf Grundlage der Ergebnisse eines Sachverständigengutachtens aus dem Jahr 2018 werden die NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Metallbearbeitungsölen (Kühlschmierstoffe) sowie sonstigen Schmierstoffen (Industrieschmierstoffe) nicht unter der Quellkategorie 2.D.3.i. – „Andere Anwendungen - Sonstige“ berichtet. Wir berücksichtigen diese beiden Quellgruppen zusammen mit den Emissionen aller weiteren Schmierstoffanwendungen – mit Ausnahme der verkehrsbezogenen - unter der Quellkategorie 2.D.1. „Anwendung von Schmiermitteln“.

Für die Definition von „NMVOC“ wird auf die VOC-Definition der EG-Lösemittelrichtlinie (European Parliament and Council of the European Union, 2010) zurückgegriffen[75]. Zur Konkretisierung des Begriffes „Lösemittelanwendung“ (solvent use) wird für die Lösemitteldefinition ebenfalls auf die EG-Lösemittelrichtlinie zurückgegriffen[76].

Dabei ist jedoch zu beachten, dass einige dieser flüchtigen organischen Verbindungen sowohl als Lösemittel als auch als chemische Reaktionskomponente eingesetzt werden, z. B. Toluol - als Lösemittel in Lacken und Klebstoffen und als Reaktionskomponente bei der Herstellung von Toluoldiisocyanat (TDI) - oder Methylethylketon (Butanon) - als Lösemittel in Druckfarben und als Ausgangsmaterial bei der Synthese von Methylethylketonperoxid. VOC (genauer Stoffe oder Mengenanteile von Stoffen oder Produkten), die als chemische Reaktionskomponente eingesetzt werden, werden dementsprechend in dieser Kategorie nicht betrachtet.

Durch die skizzierte Abgrenzung der Kategorie wird ein sehr heterogenes Feld von emissionsverursachenden Vorgängen einbezogen. Dies gilt für:

[75] Demnach sind flüchtige organische Verbindungen (VOC) alle organischen Verbindungen, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von mindestens 0,01 kPa oder unter den entsprechenden Gebrauchsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit haben.

[76] Demnach ist ein organisches Lösemittel eine flüchtige organische Verbindung, die, ohne sich chemisch zu verändern, alleine oder in Kombination mit anderen Stoffen Rohstoffe, Produkte oder Abfallstoffe auflöst oder als Reinigungsmittel zur Auflösung von Verschmutzungen, als Lösungsmittel, als Dispersionsmittel oder als Mittel zur Einstellung der Viskosität oder der Oberflächenspannung oder als Weichmacher oder Konservierungsmittel verwendet wird.

- den Anteil und die Flüchtigkeit der eingesetzten VOC.
  (Die Spannbreite reicht von der Verwendung von leichtflüchtigen Einzelstoffen als Lösemittel z.B. bei Reinigungsvorgängen über den Einsatz von Produkten mit Lösemittelgemischen z.B. in Farben & Lacken bis zu Anwendungen, in denen nur kleine Teile der Zubereitung (auch) Lösemitteleigenschaft haben, wie dies z.B. bei der Polystyrolschaumherstellung der Fall ist.)
- die sehr unterschiedlichen Emissionsbedingungen.

Lösemitteleinsätze können umweltoffen (wie bei der Verwendung von Kosmetika) bis weitgehend geschlossen (wie bei der Extraktion von nativen Ölen oder in Anlagen zur chemischen Reinigung) sein.

4.5.3.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Lösemittel)

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen erfolgt außer für die Bitumenbehandlung auf der Basis eines produktverbrauchsorientierten Ansatzes. Dabei werden die NMVOC-Einsatzmengen, die über Lösemittel oder lösemittelhaltige Produkte zu diesen Quellkategorien zugeordnet werden, ermittelt und daraus über (für jede Quellkategorie) spezifische Emissionsfaktoren die NMVOC-Emissionen berechnet. Diese Methodik ist unter der Bezeichnung „consumption-based emissions estimating“ explizit als eine von zwei für die Emissionsberechnung dieser Kategorie anzuwendenden Methoden aufgeführt.

Die Methodik erfordert - differenziert nach den Quellkategorien - belastbare Informationen über die folgenden Eingangsgrößen:

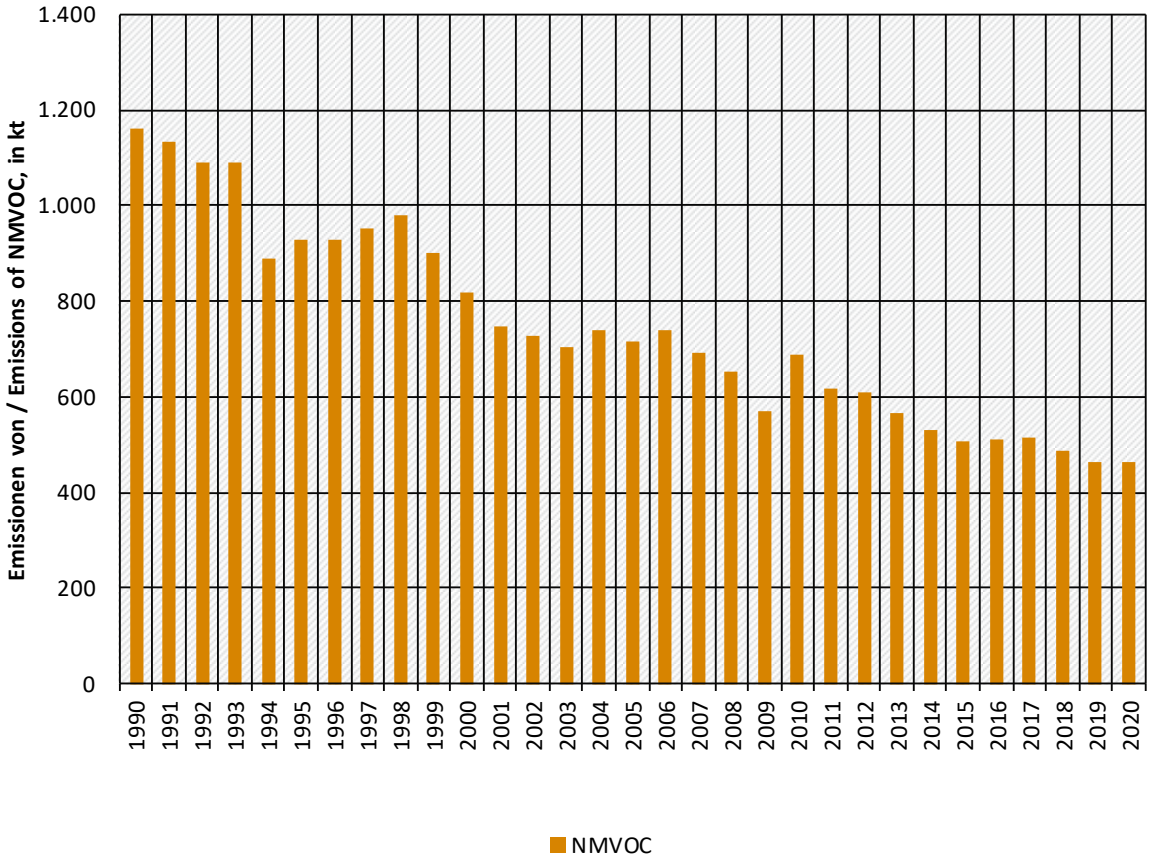
- die im Berichtsjahr eingesetzten Mengen an VOC-haltigen (Vor-) Produkten und Hilfsmitteln,
- den VOC-Gehalt dieser Produkte (Stoffe und Zubereitungen),
- die jeweiligen Anwendungs- und Emissionsbedingungen (bzw. den daraus resultierenden spezifischen Emissionsfaktor).

Um der sehr heterogenen Struktur innerhalb der Kategorie gerecht zu werden, werden die Eingangsgrößen nach 37 differenzierten Verursacherprozessen (wie oben aufgeführt, analog zu CORINAIR SNAP Level 3) bestimmt und die errechneten NMVOC-Emissionen anschließend aggregiert. Die eingesetzten Produkt-/Stoffmengen werden auf der Ebene von Produktgruppen unter Verwendung der Produktions- und der Außenhandelsstatistik ermittelt. Wo möglich, werden die so ermittelten Inlandsverbrauchsmengen durch den Abgleich mit Branchenstatistiken weiter verifiziert.

Für die durchschnittlichen VOC-Gehalte der Einsatzstoffe sowie die Emissionsfaktoren werden Werte angesetzt, die auf Expertenschätzungen (Fachgutachten und Branchendialoge) für die einzelnen Kategorien oder Kategorienbereiche basieren. Für die Berechnung der NMVOC-Emissionen des jeweils aktuellsten Jahres liegen die benötigten statistischen Basisangaben noch nicht abschließend vor, so dass für die aktuelle Berichterstattung zunächst die für das Vorjahr ermittelten Daten als Grundlage für eine Prognose verwendet werden. Die Prognose der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelverwendung für das aktuellste Jahr wird auf der Grundlage der spezifischen Aktivitätsentwicklungen errechnet. Sobald die statistischen Basisdaten für das jeweils aktuellste Jahr in der endgültigen Fassung vorliegen, werden damit die Inventardaten der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelverwendung neu berechnet.

Seit 1990 sind die NMVOC-Emissionen aus der Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten insgesamt um mehr als 50% zurückgegangen.

Abbildung 42: NMVOC-Gesamtemissionen aus lösemittelbasierten Produkten und Anwendungen (2.D.3.a,d-i)



Der Schwerpunkt der Emissionsminderung lag in den Jahren 1999 bis 2009. Zu diesem Minderungserfolg trugen insbesondere ordnungsrechtliche Regelungen wie die *Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke (Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung - ChemVOCFarbV)*, die 31. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz *(Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV)* und die 2. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz *(Verordnung über Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen – 2. BImSchV)* sowie die TA Luft bei. Aber auch das deutsche Umweltzeichen „Blauer Engel", in dessen Rahmen unter anderem lösemittelarme Lacke, Wandfarben oder Klebstoffe ausgezeichnet werden, hat daran einen wichtigen Anteil.

Obwohl in einzelnen Bereichen teilweise für mehrere Jahre sogar erhöhte Produkteinsatzmengen zu verzeichnen waren, die sich dort entsprechend emissionssteigernd auswirkten, konnte durch die oben beschriebenen Maßnahmen diese Entwicklung weitgehend ausgeglichen werden. Diese Erfolge gelangen insbesondere in den letzten Jahren und spiegeln sich in den aktualisierten Emissionsberechnungen wieder, die im Rahmen der Methodenoptimierung weiter differenzierte VOC-Gehalte und Emissionsfaktoren berücksichtigen konnten.

Seit der Berichterstattung 2009 werden die indirekten CO_2-Emissionen aus NMVOC berechnet.

Da der methodische Hintergrund für die Umrechnung der NMVOC-Emissionen in indirekte CO_2-Emissionen vor allem die Kompatibilität zur Emissionsberichterstattung der EU ist, haben wir

für die Berichterstattung den in Vol 1, *Chapter 7 Precursors and Indirect Emissions* der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vorgeschlagenen Referenzansatz verwendet:

$$EM_{indirektes\ CO2} = EM_{NMVOC} * \text{Molmasse } CO_2 / \text{Molmasse C} * 60\ \%$$

Im Rahmen von Expertengutachten und von Fachgesprächen mit den betroffenen Branchen in den Jahren 2013, 2015 und 2017 konnten die Lösemittelgehalte von verschiedenen Lacken, Beschichtungsstoffen und Druckfarben dem aktuellen Stand der Technik angepasst und damit verringert werden. Ebenso konnten die NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Metallbearbeitungsölen (Kühlschmierstoffe) sowie sonstigen Schmierstoffen (Industrieschmierstoffe) einer anderen Kategorie (2.D.1. „Anwendung von Schmiermitteln“) zugeordnet werden (siehe Kapitel 4.5.3.1).

Für die Berechnung der NMVOC-Emissionen, die bei der Veredelung von Bitumen durch das Einblasen von Luft entstehen, erfolgt mittels eines auf die Menge an behandeltem Bitumen bezogenen Emissionsfaktors. Für die Herleitung des NMVOC-Emissionsfaktors wurden Grenzwerte und Anforderungen an Minderungsmaßnahmen aus der TA Luft berücksichtigt. Der Emissionsfaktor bleibt für alle Jahre konstant und beträgt 27,2 mg/t.

Die Menge an behandeltem Bitumen wird aus dem Gesamtaufkommen an Bitumen berechnet, das vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle in den Amtlichen Mineralöldaten (BAFA, 2021) jährlich veröffentlicht wird. Der prozentuale Anteil des Blasbitumens stammt aus einer einmaligen Datenerhebung bei der Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie e.V für das Jahr 1994, die im Rahmen eines vom Umweltbundesamt beauftragten Projektes durchgeführt wurde. Der Anteil bleibt für alle Jahre konstant und beträgt 10%.

Eine ausführlichere Darlegung der Methodik und Analyse der Trends von NMVOC-Emissionen aus lösemittelhaltigen Produkten und Anwendungen liegt im Informative Inventory Report (IIR)[77] vor.

4.5.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Lösemittel)

Für die NMVOC-Emissionen liegt zum Berichtszeitpunkt eine Fehlerbetrachtung auf der Basis von Expertenschätzungen für alle Eingangsgrößen (in allen 37 differenzierten Quellbereichen) nach der Methode der Fehler-Fortpflanzung vor. Die bestehenden Unsicherheiten liegen derzeit vor allem in der mangelnden Trennschärfe der Basis-Statistiken (Produktions- und Außenhandelsstatistik) in Hinblick auf die Unterteilung in VOC-haltige und VOC-freie Produkte sowie in Bezug auf die Verwendung in verschiedenen Quellbereichen mit sehr unterschiedlichen Emissionsbedingungen.

Für eine Konsistenzprüfung des Inventars wurden im Rahmen eines Sachverständigengutachtens eine Dokumentation der Datenbasis und der Berechnungsmethoden für die 37 SNAP Codes vorgenommen; die Zeitreihen der Emissionen ab dem Jahr 2005 wurden in Bezug auf größere Sprünge (>10 % von Jahr zu Jahr) hin geprüft und eine Ursachenanalyse vorgenommen. Für alle identifizierten Sprünge konnten dabei die Ursachen nachvollzogen werden. Im Ergebnis konnten wir keine Inkonsistenzen in den Zeitreihen feststellen.

[77] Informative Inventory Report – Germany http://iir.umweltbundesamt.de

4.5.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Lösemittel)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.5.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Lösemittel)

Die im Emissionsinventar verwendeten Daten für die NMVOC-Emissionen des vorangehenden Jahres werden routinemäßig einer quellenspezifischen Rückrechnung unterzogen. Diese Vorgehensweise ist in der Methodik des produktverbrauchsorientierten Ansatzes begründet und notwendig, da die endgültigen Daten der Außenhandelsstatistik erst nach Abschluss der Berichterstattung des betreffenden Berichtsjahres vorliegen.

Für die NMVOC-Emissionen des Jahres 2018 waren Korrekturen nur in geringem Maße notwendig aufgrund der entsprechenden Anpassungen / Aktualisierungen der Außenhandelsstatistik (WA2018).

Da der NIR für die Berichterstattung 2021 aufgrund personeller Engpässe nicht überarbeitet werden konnte und aus diesen Gründen in der letztjährigen Berichterstattung die Emissionsdaten des Jahres 2018 fortgeschrieben wurden, erfolgte für die diesjährige Berichterstattung eine komplette Neuberechnung der Emissionsdaten für die Jahre 2019 und 2020. Dabei konnten auch die Änderungen der nationalen Produktionsstatistik (aktualisierte Systematik der Warennummern GP2019) sowie der Außenhandelsstatistik (Systematik der Warennummern WA2019, WA 2020) berücksichtigt werden.

Durch die Änderung der Berechnungsmethode für die Herstellung von Blasbitumen war eine Rückrechnung bis 1990 erforderlich. Die Auswirkungen der Änderungen auf 2.D.3g. betragen maximal 0,6 %.

4.5.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Lösemittel)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.5.4 Sonstige: Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung (2.D.3 Bitumen)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NMVOC	Tier 1	AS	CS
CO_2	NE	NE	NE

Die Kategorie *Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung* weist nach derzeitigem Kenntnisstand keine Emissionen an Treibhausgasen auf[78] und ist somit keine Hauptkategorie.

4.5.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Bitumen)

Die Verwendung von Bitumen umfasst die Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen.

Die Menge an in Deutschland produzierten und verwendeten Mengen an Dach- und Dichtungsbahnen ist aus Tabelle 196 zu entnehmen, wobei die Abweichung zwischen beiden Angaben vom Exportüberschuss abhängt. Bei der Herstellung wird flüssiges Bitumen bei

[78] siehe Diskussion um indirekte CO2-Emissionen unter methodische Aspekte

Temperaturen von 150°C bis 220°C als Tränk- oder Deckmasse verarbeitet. Der Prozess ist mit Emissionen an organischen Stoffen verbunden (hier als NMVOC zusammen gefasst).

Die Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen erfolgt in Heiß- und Kaltverfahren. Beim Heißverfahren, dem Bahnenschweißen, treten relevante Emissionen an organischen Stoffen auf. Die Emissionsentwicklung wird hauptsächlich von der Entwicklung der Produktionsmenge an Polymerbitumenbahnen bestimmt. Die Verwendung von lösemittelhaltigen Voranstrichen wird hier nicht berücksichtigt, sondern erfolgt im Lösemittelmodell, siehe Kapitel 4.5.1.

Die Emissionen aus der Herstellung der Dach- und Dichtungsbahnen bleiben bei kaum sinkenden Produktionsmengen stabil. Die Emissionen aus der Verlegung der Dach- und Dichtungsbahnen können bei sinkenden Verwendungsmengen leicht ansteigen, weil die Verwendung von Bitumenschweißbahnen einen zunehmend höheren Anteil hat.

Andere Substanzen als NMVOC haben nur eine untergeordnete Emissionsrelevanz (siehe Fußnote [78]).

4.5.4.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Bitumen)

Die Daten zur Produktionsmenge und Anwendungsmenge (**Aktivitätsrate**) an Dach- und Dichtungsbahnen stellt auf Basis einer Kooperationsvereinbarung aus dem Jahre 2009 der Verband der Dachbahnenindustrie zur Verfügung (VDD, 2021). Momentan finden keine Datenergänzungen oder Hochrechnungen statt. Für eine international vergleichbare Angabe werden jedoch die Produktionsmengen in die Menge an eingesetztem Bitumen umgerechnet (je nach Bahnenart zwischen 1,3 und 3,3 Bitumen kg/m²).

Es werden wegen der dominierenden Emissionsrelevanz nur die Emissionen an NMVOC betrachtet und im Emissionsinventar berücksichtigt und dabei zwischen Emissionen aus der Herstellung und Emissionen aus der Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen unterschieden.

Der **Emissionsfaktor** für die Herstellung der Dach- und Dichtungsbahnen stammt aus einer Berechnung auf Basis des Standes der Technik deutscher Hersteller (VDD, 2009). Der Emissionsfaktor für die Verlegung von Polymerbitumenbahnen ist einer Ökobilanz entnommen (Kreißig, 1996). Für Bahnen, die überwiegend mit Heißbitumen verklebt werden, wurde dieser Emissionsfaktor in Analogie übernommen. Dünne Bahnen werden nicht verklebt, sondern genagelt und weisen keine Emissionen auf. Wegen der zunehmenden Bedeutung der Polymerbitumenbahnen steigt der implizite Emissionsfaktor für die Kategorie leicht an.

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen entspricht einer Tier-1-Methode, da keine detaillierten Daten vorliegen.

Tabelle 196: Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen und dazugehörige AR und EF

	Produzierte oder verarbeitete Fläche in 2020 [Mio. m²]	EF/ IEF [kg/ m²]
Herstellung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen	170	NMVOC 0,000358
Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen	146	NMVOC 0,000027 – 0,000042

Die Emissionen von Kohlendioxid, die sich aus der Multiplikation der NMVOC-Emissionen mit einem Faktor für den Kohlenstoffgehalt in Höhe von 80% und einer Umrechnung auf CO_2 ergeben würden, liegen vernachlässigbar niedrig. Diese werden deshalb nicht ausgewiesen, sondern in den CRF-Tabellen mit ‚NE' gekennzeichnet.

4.5.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Bitumen)

Angaben zur Unsicherheit der Daten des vdd wurden zwischen vdd und Umweltbundesamt abgestimmt. Die Gesamtunsicherheit der Aktivitätsdaten von Herstellung und Verlegung wird auf einen Wert von circa +/-1 % geschätzt. Daraus ergibt sich für den errechneten Bitumenverbrauch der Gesamtproduktion eine höhere Unsicherheit von circa +/-2,5 %.

Die kumulierten Emissionsfaktoren werden für die Produktion und Verlegung der Dach- und Dichtungsbahnen auf circa +/-5 % geschätzt.

4.5.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Bitumen)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt. Im Rahmen der Verbandsvereinbarung mit dem VDD wurde eine Checkliste zur QK/QS ausgefüllt und bestätigt.

Die Ermittlung der Aktivitätsraten wird als plausibel eingeschätzt. Die Emissionsfaktoren stehen im Einklang mit Erkenntnissen aus Forschungsprojekten des UBA und sind plausibel. Vor allem wird die Gültigkeit der Emissionsfaktoren damit begründet, dass hier keine Emissionen aus dem Einsatz lösemittelhaltiger Anstriche zu berücksichtigen sind (erfolgt im Lösemittelmodell, siehe oben).

4.5.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Bitumen)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.5.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Bitumen)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.5.5 Sonstige: Straßenasphaltierung (2.D.3 Asphalt)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NO_X, NMVOC, SO_2	Tier 1	AS	CS
CO_2	NE	NE	NE

Die Kategorie Straßenasphaltierung weist nach derzeitigem Kenntnisstand keine Emissionen an Treibhausgasen auf[79] und ist somit keine Hauptkategorie.

4.5.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Asphalt)

Aktuell werden in den Berichtstabellen Produktionsmengen von Asphaltmischgut und die Emissionen an NMVOC, NO_X und SO_2 berichtet (bezüglich CO_2 siehe Fußnote [79]).

Im Jahr 2020 wurden in Deutschland ca. 38 Mio. t Asphalt (DAV, 2021) in ca. 600 Asphaltmischanlagen produziert (DAV, 2016). Das Produkt wird vornehmlich im Straßenbau eingesetzt und steht in direkter Konkurrenz zu hydraulisch gebundenen Betonstraßen. Nach einem deutlichen Anstieg der Produktion im Jahr 1991 nahm die produzierte Menge seit 2000 ab.

Die Emissionsentwicklung wird hauptsächlich von der Entwicklung der Produktionsmenge bestimmt, die in den letzten Jahren stagniert.

[79] siehe Diskussion um indirekte CO2-Emissionen unter methodische Aspekte

4.5.5.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Asphalt)

Für den Brennstoffeinsatz existiert in der Kategorie 1.A.2 kein gesondertes Berechnungsverfahren. Die eingesetzten Brennstoffe sind aber über die Auswertung der Energiebilanz berücksichtigt und mit entsprechenden Emissionsfaktoren gekoppelt.

Die Produktionsmenge (**Aktivitätsrate**) an Asphaltmischgut wurde den Mitteilungen vom Deutschen Asphaltverband (DAV) entnommen.

Die Ermittlung der **Emissionsfaktoren** erfolgte länderspezifisch nach Tier 2. Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren anderer Substanzen als CO_2 wurde auf Emissionsmessdaten von über 400 Asphaltmischanlagen im Messzeitraum 1989 bis 2000 zurückgegriffen. Der größte Teil der Emissionen entsteht beim Trocknen der Mineralstoffe. NMVOC-Emissionen stammen nahezu vollständig aus den organischen Rohstoffen und werden v.a. im Paralleltrommelbetrieb und sowie aus dem Mischer und im Verladebereich freigesetzt. NO_X und SO_2 stammen durchschnittlich zu etwa 50 % aus den mineralischen Einsatzstoffen (anteilige Prozessemission). CO entsteht überwiegend bei unvollständigen Verbrennungsvorgängen. Die Emissionen an CO werden ausschließlich beim Brennstoffeinsatz berechnet.

Tabelle 197: Emissionsfaktoren bei der Herstellung Asphaltmischgut

	NOx	NMVOC	SO_2
EF [kg/ t]	0,015	0,030	0,030

Es werden nur die Emissionen bei der Herstellung von Asphalt berichtet. Angaben über die Emissionen beim Einbau des Asphalts sind noch nicht ausreichend geprüft.

Die Emissionen von Kohlendioxid, die sich aus der Multiplikation der NMVOC-Emissionen mit einem Faktor für den Kohlenstoffgehalt in Höhe von 80 % und einer Umrechnung auf CO_2 ergeben würden, liegen vernachlässigbar niedrig. Diese werden deshalb nicht ausgewiesen, sondern in den CRF-Tabellen mit ‚NE' gekennzeichnet.

4.5.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Asphalt)

Wie die umfangreichen Messdaten zeigen, liegen die Emissionen in einem vergleichsweise engen Bereich. Aufgrund der Anzahl der Messdaten lassen sich sehr verlässliche Mittelwerte bilden. Lediglich die Aufteilung der Emissionsmengen in brennstoff- und prozessbedingte Emissionen ist mit größeren Unsicherheiten behaftet.

Die Ermittlung der Produktionsmengen kann als sehr genau betrachtet werden, da es sich um ein verkaufsfertiges Produkt handelt und die Mengen von den Betreibern an den DAV übermittelt werden.

4.5.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Asphalt)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt.

4.5.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Asphalt)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.5.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Asphalt)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.5.6 CO_2-Emissionen aus dem Einsatz von AdBlue® in Straßenverkehr und Off-Road-Fahrzeugen (2.D.3 Sonstige: AdBlue)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS / M	CS / M	D

4.5.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Sonstige: AdBlue)

Seit 2004 kommen in Deutschland zunehmend Fahrzeuge mit SCR-Katalysator zum Einsatz. In diesen Katalysatoren zur reduktiven Minderung von NO_x-Emissionen kommt eine wässrige Harnstofflösung[80] zum Einsatz, bei deren chemischer Umwandlung Kohlendioxid frei wird. In Deutschland wird dazu nahezu ausschließlich das Produkt AdBlue® verwendet (VDA, 2013).

4.5.6.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Sonstige: AdBlue)

Da aktuell keine umfassenden Statistiken oder Marktstudien zum AdBlue®-Absatz vorliegen, werden die eingesetzten Mengen und resultierenden CO_2-Emissionen innerhalb TREMOD (Knörr et al., 2021c) anhand der Angaben zum Kraftstoffverbrauch der SCR-Fahrzeuge berechnet.

Tabelle 198: modellierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pkw	0	0	2.995	53.252	97.364	142.392	178.728	212.677	199.268
Leichte Nutzf.	0	0	0	604	4.620	18.123	37.654	56.164	66.819
Lastkraftwagen	203	7.627	350.366	570.076	616.240	654.977	686.529	706.169	702.965
Busse	51	200	17.320	37.525	42.955	47.283	52.740	57.116	48.021
Σ Straßenverk.	**254**	**7.827**	**370.680**	**661.457**	**761.179**	**862.774**	**955.650**	**1.032.126**	**1.017.074**
Bauwirtschaft	0	0	0	5.901	16.027	28.961	41.704	54.120	66.584
GHD	0	0	0	876	2.405	4.347	6.256	8.132	10.018
Landwirtschaft	0	0	0	2.363	6.749	13.098	20.145	27.241	35.105
Forstwirtschaft	0	0	0	334	1.064	2.129	3.786	5.235	7.552
Σ Offroad	**0**	**0**	**0**	**9.474**	**26.244**	**48.535**	**71.892**	**94.728**	**119.260**
Gesamtmenge	**254**	**7.827**	**370.680**	**670.930**	**787.423**	**911.309**	**1.027.542**	**1.126.854**	**1.136.334**

Quelle: Knörr et al. (2021b); Knörr et al. (2021c)

Die Berechnung der resultierenden CO_2-Emissionen erfolgt anhand folgender Formel gemäß 2006 IPCC GL (IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.2 - Road Transportation, S. 3.12, Formel 3.2.2):

$$EM_{CO_2} = AR_{AdBlue®} \times \frac{12}{60} \times \frac{32{,}5}{100} \times \frac{44}{12}$$

Die folgende Tabelle stellt die so ermittelten CO_2-Emissionen dar.

Tabelle 199: aus dem Einsatz von AdBlue® resultierende CO_2-Emissionen, in Kilotonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pkw	0,00	0,00	0,71	12,7	23,2	33,9	42,6	50,7	47,5
Leichte Nutzf.	0,00	0,00	0,00	0,14	1,10	4,32	8,97	13,4	15,9
Lastkraftwagen	0,05	1,82	83,5	136	147	156	164	168	168
Busse	0,01	0,05	4,13	8,94	10,2	11,3	12,6	13,6	11,4
Σ Straßenverk.	**0,06**	**1,87**	**88,3**	**158**	**181**	**206**	**228**	**246**	**242**
Bauwirtschaft	0,00	0,00	0,00	1,41	3,82	6,90	9,94	12,9	15,9
GHD	0,00	0,00	0,00	0,21	0,57	1,04	1,49	1,94	2,39
Landwirtschaft	0,00	0,00	0,00	0,56	1,61	3,12	4,80	6,49	8,37
Forstwirtschaft	0,00	0,00	0,00	0,08	0,25	0,51	0,90	1,25	1,80
Σ Offroad	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**2,26**	**6,25**	**11,6**	**17,1**	**22,6**	**28,4**
Gesamtmenge	**0,06**	**1,87**	**88,3**	**160**	**188**	**217**	**245**	**269**	**271**

Quelle: Knörr et al. (2021b); Knörr et al. (2021c)

[80] mittlerer Harnstoffgehalt gemäß DIN 70070: 32,5 %

Im deutschen Treibhausgas-Inventar werden diese Emissionen gemäß Fußnote (6) zur CRF-Tabelle 2(I).A-Hs2 unter *2.D.3 – Non-energy products from fuels – Other* berichtet.

4.5.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Die hier zugrundegelegten Unsicherheitenangaben stellen Expertenschätzungen dar. Datenquellen, Methoden und Emissoinsfaktoren werden über die gesamte Zeitreihe hinweg konsistent angewendet.

4.5.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Eine Verifizierung der Daten anhand vergleichbarer Inventare für Deutschland ist nicht möglich. Ein Vergleich mit Inventaren anderer Länder erfolgte im Rahmen eines EU-weiten Austausches zu neuen Emissionsquellen zuletzt im Sommer 2018.

4.5.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Tabelle 200: revidierte jährliche Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge, in Terajoule

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	204	6.402	366.267	972.677	1.099.81	1.210.75	1.300.24	1.375.80
Submission 2021	204	6.402	366.315	972.273	1.099.71	1.209.00	1.295.57	1.369.48
Änderung	0,0	0,0	-47,9	404	100	1.751	4.673	6.322
Änderung relativ	0,00%	0,00%	-0,01%	0,04%	0,01%	0,14%	0,36%	0,46%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2021b); Knörr et al. (2021c)

Aus der Revision der Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge resultiert eine Neuberechnung der eingesetzten AdBlue®-Mengen. Hier ist zu beachten, dass diese sich nicht 1:1 zu den Kraftstoffverbräuchen ändern. Grund hierfür ist, dass die betrachteten Offroad-Fahrzeuge im Schnitt mehr Harnstofflösung je Liter Diesel verbrauchen, als Sraßenfahrzeuge.

Tabelle 201: revidierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	254	7.827	370.680	670.930	787.423	911.309	1.027.5	1.126.8
Submission 2021	254	7.827	370.732	670.864	787.907	910.361	1.024.7	1.125.2
Änderung	0,0	-0,1	-51,6	65,9	-483	948	2.774	1.611
Änderung relativ	0,00%	0,00%	-0,01%	0,01%	-0,06%	0,10%	0,27%	0,14%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2021b); Knörr et al. (2021c)

Aus den korrigierten AdBlue®-Mengen resultiert nachfolgend dargestellte Anpassung der Kohlendioxid-Emissionen.

Tabelle 202: revidierte CO_2-Emissionen, in Kilotonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	0,06	1,87	88,3	160	188	217	245	269
Submission 2021	0,06	1,87	88,4	160	188	217	244	268
Änderung absolut	0,00	0,00	-0,01	0,02	-0,12	0,23	0,66	0,38
Änderung relativ	0,00%	0,00%	-0,01%	0,01%	-0,06%	0,10%	0,27%	0,14%

Quelle: eigene Berechnungen

4.5.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Derzeit sind keine über die allgemeine Pflege der zugrundeliegenden Modelle TREMOD und TREMOD MM hinaus gehenden Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.6 Elektronik-Industrie (2.E)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2020
-/-	2 E, Electronics Industry		C2F6	162,5	0,0%	42,9	0,0%	-73,6%
-/-	2 E, Electronics Industry		CF4	102,6	0,0%	65,8	0,0%	-35,9%
-/-	2 E, Electronics Industry		SF6	47,3	0,0%	27,2	0,0%	-42,5%
-/-	2 E, Electronics Industry		C6F14	25,4	0,0%	0,0	0,0%	-100,0%
-/-	2 E, Electronics Industry		HFC-23	17,1	0,0%	14,0	0,0%	-17,9%
-/-	2 E, Electronics Industry		NF3	5,3	0,0%	10,8	0,0%	104,2%
-/-	2 E, Electronics Industry		HFC-32	0,0	0,0%	0,0	0,0%	
-/-	2 E, Electronics Industry		C3F8	0,0	0,0%	12,2	0,0%	
-/-	2 E, Electronics Industry		c-C4F8	0,0	0,0%	5,7	0,0%	

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC	Tier 3	AS, NS	PS
PFC	CS	AS, NS	CS
SF_6	CS	AS, NS	CS
NF_3	CS	AS, NS	CS

Die Kategorie *Elektronik-Industrie* ist keine Hauptkategorie.

4.6.1 Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1)

4.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.1)

In der Halbleiterindustrie emittieren gegenwärtig FKW (CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8), HFKW (CHF_3, CH_2F_2), Stickstofftrifluorid (NF_3) und Schwefelhexafluorid (SF_6) aus dem Fertigungsprozess. Diese Gase werden zum Strukturätzen dünner Schichten und zum Reinigen der Reaktionskammern nach dem CVD-Prozess (Chemical Vapour Deposition) eingesetzt. Einige der in die Plasmakammern eingebrachten FKW werden im Produktionsprozess teilweise zu CF_4 umgewandelt.

Die Emissionen aus der Halbleiterindustrie hängen zum einen von der Häufigkeit des Einsatzes von Abgasreinigungstechniken ab. Zum anderen hat die jährlich produzierte Menge an Halbleitern direkten Einfluss auf die Emissionen. Daraus resultieren jährliche Schwankungen in den Emissionen.

In der Platinenfertigung gibt es Anlagen zur Bohrlochreinigung, die mit CF_4 arbeiten. Dieser Anwendungsbereich unterliegt kaum Veränderungen, wie eine wiederholte Befragung im Jahr 2019 ergab.

4.6.1.2 Methodische Aspekte (2.E.1)

Emissionsfaktoren

Während des Ätzprozesses setzen sich nur etwa 15 % des zugeführten CF_4 chemisch um. Der Emissionsfaktor als inverse Umsetzungsrate beträgt also 85 % des CF_4-Verbrauchs.

Die Emissionen können allerdings nicht allein anhand der eingesetzten Mengen (Verkäufe des Gasehandels) ermittelt werden, weil die Differenz zwischen Verbrauch und Emission von verschiedenen Faktoren abhängig ist, nämlich neben der nur partiellen chemischen Umsetzung im Plasmareaktor vor allem auch von der Wirkung nachgeschalteter Abgasreinigungsanlagen. Sie werden daher anlagenspezifisch vom Industrieverband aggregiert und gemeldet.

Aktivitätsdaten

Die Verwendungsmengen von SF_6 (seit dem Berichtsjahr 2006) und NF_3 (seit dem Berichtsjahr 2015) werden durch Befragung des Gasehandels vom Statistischen Bundesamt ermittelt (UStatG 2005). Die Verwendungsmengen der anderen Stoffe werden vom Statistischen Bundesamt erhoben, der Halbleiterindustrie zugeordnet und von ihr bestätigt.

Gesicherte Emissionsdaten liegen für 1990 und 1995 vor. Für die Jahre 1991 bis 1994 wurde eine lineare Interpolation durchgeführt.

Bis zum Berichtsjahr 2000 basierten die Emissionsangaben auf Befragungen durch EECA-ESIA (European Electronic Component Manufacturers Association – European Semiconductor Industry Association). Die nationalen Hersteller wurden zu Produktionskapazitäten, eingesetzten Stoffmengen und Abgasbehandlungstechniken befragt.

Seit dem Jahr 2001 liegen aufgrund einer freiwilligen Zusage der Halbleiterindustrie Emissionsangaben für diese Teilgruppe für alle Einzelstoffe vor. Die Emissionsdaten werden nach einer einheitlichen Berechnungsformel (Tier 3-Ansatz) aus dem jährlichen Verbrauch für jede Produktionsstätte berechnet, aggregiert und vom ZVEI (Fachverband Bauelemente) an das Umweltbundesamt gemeldet.

Die Emissionen aus der Halbleiterindustrie steigen je nach Stoff leicht oder sind konstant. Die Emissionen aus der Leiterplattenproduktion sind konstant.

4.6.1.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.1)

Die Unsicherheiten der Halbleiterindustrie wurden vollständig erfasst. Die Unsicherheiten der Emissionen liegen laut des Verbandes bei U_{max}= 12 % und U_{min}= 7 %.

Die Unsicherheiten (U_{min}/U_{max}) für die Emissionen aus der Leiterplattenproduktion liegen bei 15%.

4.6.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.1)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.6.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.1)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten haben einen verbandsinternen Prozess der Qualitätssicherung /-kontrolle durchlaufen.

Eine Qualitätskontrolle (nach Tier 1) und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Verband erhobenen Daten und den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer Länder.

4.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.1)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.6.2 TFT (2.E.2)

Es findet keine Herstellung von TFT Flachbildschirmen in Deutschland statt.

4.6.3 Photovoltaik (2.E.3)

4.6.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.3)

SF_6 und andere Fluorverbindungen wurden in Deutschland bei der Herstellung von Wafern zum Strukturätzen und zur Reinigung der Reaktionskammern im Fertigungsprozess eingesetzt. Da die Reinheit des Prozessgases niedriger ist als im analogen Produktionsprozess der Halbleiterindustrie, wird die Anwendung Photovoltaik gesondert berichtet. In Deutschland begann die Verwendung von SF_6 in der Solartechnik im Jahr 2003.

Die Zeitreihe zeigt zwischen 2003 und 2006 einen kontinuierlichen Anstieg der Emissionen, der auf steigende Produktionsmengen zurückzuführen ist. 2007 und 2008 ist ein sprunghafter Anstieg zu verzeichnen, da die Zahl der produzierten Wafer und damit auch der Anwendungsmengen von SF_6 stark stiegen. Sinkende Produktionsmengen führten ab dem Jahr 2010 wieder zu sinkenden Emissionen. Ab dem Jahr 2014 gab es in Deutschland keine Waferproduktion mit SF_6 mehr.

NF_3 ersetzte seit 2008 SF_6 in allen neu gebauten Produktionslinien zur Herstellung von Si-Dünnschichtzellen. Die Produktion wurde bis 2015 eingestellt.

Außerdem wurde der perfluorierte Kohlenwasserstoff CF_4 in den Jahren 2002/2003 zum so genannten Kantenisolieren kristalliner Solarzellen eingeführt. Er wurde aber bald durch ein leichter handhabbares Verfahren ersetzt. Der Verbrauch von CF_4, der seinen Spitzenwert im Jahr 2004 erreichte, ging seitdem stark zurück. Die Produktion wurde 2014 eingestellt.

4.6.3.2 Methodische Aspekte (2.E.3)

Wie auch in der Halbleiterindustrie traten die Emissionen in der Photovoltaik während der Produktion auf. Die Fertigungsemissionen konnten nicht allein anhand der eingesetzten Mengen (Verkäufe des Gasehandels) ermittelt werden. Die Differenzen zwischen Verbrauch und Emission resultierten aus der partiellen chemischen Umsetzung im Plasmareaktor und der Wirkung nachgeschalteter Abgasreinigungsanlagen.

Emissionsfaktoren

In Deutschland gab es im Jahr 2009 nur noch einen Hersteller ohne Abgasreinigungsanlage. Daher wurde der IPCC Default-Emissionsfaktor von 40 % nur für das erste Einsatzjahr 2003 angenommen. Danach sankt der Emissionsfaktor mit steigendem Anteil der Wafer-Produktion mit nachgeschalteter Abgasreinigungsanlage. Im Jahr 2010 lag er bei knapp 6 %. Ab 2011 hatten alle Produktionsstätten, die SF_6 einsetzten, Abgasreinigungsanlagen installiert, und der Emissionsfaktor betrug seitdem 4 %.

Bei der Waferproduktion mit NF_3 hatte der Emissionsfaktor einen Wert von 4 % und laeg deutlich unter dem IPCC Default-Emissionsfaktor von 20 %, da alle nationalen Produktionsstätten Abgasreinigungsanlagen betrieben haben.

Der Emissionsfaktor beim Kantenisolieren mit CF_4 beträgt 7 %.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen wurden vom Statistischen Bundesamt durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gaslieferanten (UStatG 2005) ermittelt. Zusätzlich wurden die Daten in einer gesonderten Studie nachrecherchiert (Schwarz 2009).

4.6.3.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.3)

Die Unsicherheiten wurden vollständig erhoben. Die Unsicherheiten der Emissionen (U_{min}/U_{max}) liegen laut Expertenschätzungen bei 10 % für SF_6, 20% für NF_3 und 50 % für CF_4.

4.6.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.3)

Es waren keine Rückrechnungen erforderlich.

4.6.3.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.3)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt und vom Forschungsnehmer zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer Länder, die Produktionsstätten mit Abgasreinigungsanlagen betreiben.

4.6.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.3)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.6.4 Wärmeüberträger (2.E.4)

4.6.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.4)

Der FKW C_6F_{14} fand als Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie und in ausgewählten ICE-Triebköpfen Anwendung. Die Verwendung von C_6F_{14} in der Halbleiterindustrie war in den 1990er Jahren weit verbreitet, ist aber 2015 zugunsten hydrofluorierter Ether eingestellt worden. Emissionen entstehen daher nur noch aus dem Bestand und bei der Entsorgung. Zur Kühlung in ICE-Triebköpfen kam C_6F_{14} bis 2009 zum Einsatz.

4.6.4.2 Methodische Aspekte (2.E.4)

Die Emissionsfaktoren werden mit 1 % für die Befüllung, 5 % für die Emissionen aus dem Bestand und 15 % für die Entsorgung angenommen. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) enthalten keine Default-Emissionsfaktoren nach Tier 2.

Die Verwendungsmengen und Emissionsfaktoren wurden durch Befragungen von Branchenexperten (Deutsche Bahn, ZVEI) und Literaturangaben im Rahmen eines Forschungsvorhabens ermittelt (Gschrey et al. 2015).

Die durchschnittliche Lebenszeit der Anlagen mit Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie beträgt 12 Jahre.

Wegen der Vertraulichkeit wird die Quellgruppe unter CRF 2.H.3 berichtet.

4.6.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.4)

Die Unsicherheiten wurden vollständig erhoben. Die Unsicherheiten für die Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (U_{min}/U_{max}) liegen laut Expertenschätzungen bei 20 %.

4.6.4.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.4)

Es waren keine Rückrechnungen erforderlich.

4.6.4.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.4)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Forschungsnehmer erhobenen Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

4.6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.4)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.7 Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (2.F)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2020
L/T	**2 F, Product Uses as Substitutes for ODS**		**HFC-134a**	**2.268,2**	**0,2%**	**4.760,2**	**0,7%**	**109,9%**
L/T	**2 F, Product Uses as Substitutes for ODS**		**HFC-125**	**149,9**	**0,0%**	**2.079,4**	**0,3%**	**1287,4%**
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	90,1	0,0%	31,1	0,0%	-65,5%
-/T	**2 F, Product Uses as Substitutes for ODS**		**HFC-143a**	**71,3**	**0,0%**	**1.257,5**	**0,2%**	**1662,9%**
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C3F8	19,9	0,0%	1,3	0,0%	-93,7%
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-23	16,3	0,0%	61,7	0,0%	279,8%
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	0,8	0,0%	215,8	0,0%	28443,8%
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	0,6	0,0%	87,2	0,0%	13384,0%
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C2F6	0,0	0,0%	2,7	0,0%	-
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-236fa	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-245fa	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-365mfc	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C_6F_{14}	C	C	C	C	C

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC, PFC	s. Tabelle 203/Tabelle 204	s. Tabelle 203/Tabelle 204	s. Tabelle 203/Tabelle 204

Die Kategorie Anwendungen als ODS Ersatzstoff ist für HFKW-134a- und HFKW-125-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend sowie für HFC-143a-Emissionen nur nach demTrend.

Zu der Kategorie 2.F gehören Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1), die Schaumherstellung (2.F.2), Feuerlöschmittel (2.F.3), Aerosole (2.F.4), Lösemittel (2.F.5) und andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden (2.F.6). Zwecks genauerer Datenerhebung erfolgt eine weitere Unterteilung dieser Unterkategorien, die in den folgenden Unterkapiteln beschrieben wird.

Die Verwendung als Kältemittel in der stationären und mobilen Kühlung ist mit über drei Vierteln der Emissionsmenge die größte Quelle der HFKW-Emissionen dieser Quellgruppe. Die verbleibenden Emissionen verteilen sich auf Schäume und Aerosole, sowie in geringen Mengen auf Feuerlöschmittel und Lösemittel.

Die FKW-Emissionen stammen aus dem Einsatz bestimmter Kältemittelgemische in Kälte- und Klimaanlagen.

Tabelle 203: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in der Kategorie 2.F.1 – *Kälte- und Klimaanlagen*.

	QG	Methode	Schadstoff		Lebensdauer	Herstellung	Anwendung	Entsorgung	
			HFKW	FKW	[Jahre]	Emissionsfaktor (dimensionslos)	Emissionsfaktor (dimensionslos)	Restfüllstand (dimensionslos)	Rückgewinnungsrate (dimensionslos)
Kälte- und Klimaanlagen	**2.F.1**								
Gewerbekälte	2.F.1a								
- Steckerfertige Geräte		Tier 2a	HFKW		10 (D)	0,005 (D)	0,01 - 0,014 (D)	0,90 (CS)	0,326 - 0,6 (D)
- Verflüssigungssätze					12 (D)	0,01 (D)	0,049 - 0,097 (CS)	0,85 (D)	0,475 - 0,8 (D, CS)
- Zentralanlagen				FKW	10 - 14 (D)	0,01 (D)	0,0805 - 0,195 (D, CS)	0,875 (D)	0,429 - 0,8 (D, CS)
Haushaltskälte	2.F.1b								
- Haushaltskühlgeräte		Tier 2a	HFKW		15 (D)	NO	0,003 (D)	0,955 (CS)	0,733 (CS)
- Speiseeismaschinen		Tier 2a	HFKW		15 (CS)	NO	0,003 (CS)	0,955 (CS)	0,53 - 0,65 (CS)
Industriekälte	2.F.1c								
- Steckerfertige Geräte		Tier 2a	HFKW		10 (CS)	0,005 (D)	0,01 - 0,014 (CS)	0,9 (D)	0,337 - 0,6 (D)
- Großkälteanlagen				FKW	10 - 30 (CS, D)	0,01 (D)	0,0455 - 0,088 (CS, D)	0,85 (D)	0,45 - 0,8 (D)
Transportkälte	2.F.1d								
- Kühlfahrzeuge		Tier 2a	HFKW	FKW	10 (CS)	5 g/Anlage (CS, D)	0,15 - 0,3 (D)	0,875 (CS)	0,657 (D)
- Kühlcontainer					14 (CS)	NO	0,05 - 0,1 (CS)	0,875 (CS)	0,657 (D)
Mobile Klimaanlagen	2.F.1e								
- Nfz		Tier 2a	HFKW		15 (D)	5 g/Anlage (CS, D)	0,15 (D)	0,34 (D)	0,38 - 0,5 (D)
- Pkw					15 (D)	3 g/Anlage (CS, D)	0,1 (D)	0,34 (D)	0,38 - 0,5 (D)
- Busse					15 (D)	50 g/Anlage (D)	0,15 (D)	0,34 (D)	0,38 (D)
- Schiffe					25 (CS)	0,01 (CS)	0,1 - 0,35 (CS)	NO	NO
- Schienenfahrzeuge					25 (CS)	0,005 (D)	0,06 (CS)	0,875 (CS)	0,756 - 0,8 (CS)
- Landmaschinen					10 (CS)	5 g/Anlage (CS)	0,15 - 0,25 (CS)	0,34 (CS)	0,117 (CS)
- Flugzeuge					-	NO	0,05 (CS)	NO	NO
Stationäre Klimaanlagen	2.F.1f								
- Großklimaanlagen		Tier 2a	HFKW		15 - 25 (D)	0,005 (D)	0,028 - 0,06 (D)	0,9 (D)	0,658 - 0,8 (D)
- Wärmepumpen					15 (D)	0,005 (D)	0,02 - 0,025 (D)	0,75 (D)	0,5 - 0,65 (D)
- Wärmepumpentrockner					15 (CS)	0,005 (CS)	0,003 (CS)	NO	NO
- Spülmaschinen					12 (CS)	0,01 (CS)	0,003 (CS)	0,955 (CS)	0,82 - 0,85 (CS)
- mob. Raumklimageräte					10 (D)	NO	0,025 - 0,034 (D)	0,75 (D)	0,242 - 0,4 (D)
- Single-Split-Geräte					10 (D)	0,1 (CS)	0,05 - 0,069 (D)	0,875 (CS)	0,379 - 0,6 (D)
- Multi-Split-Geräte					13 (D)	0,01 (D)	0,042 - 0,079 (D)	0,875 (CS)	0,62 - 0,8 (D)
- VRF-Geräte					13 (D)	0,01 (D)	0,049 - 0,081 (D)	0,875 (CS)	0,72 - 0,8 (D)

Tabelle 204: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.F.2 (Schaumherstellung), 2.F.3 (Feuerlöschmittel), 2.F.4 (Aerosole), 2.F.5 (Lösemittel) und 2.F.6 (Andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden)

	QG	Methode	Schadstoff		Lebensdauer	Emissionsfaktor (dimensionslos)		
			HFKW	FKW	[Jahre]	Herstellung	Anwendung	Entsorgung
Schaumherstellung	**2.F.2**							
geschlossenzellig	2.F.2a							
- PU-Hartschaum mit 134a		Tier 2a	HFKW		50 (D)	0,1 (D)	0,005 (D)	NO
- PU-Hartschaum mit 227ea/245fa/365mfc					50 (D)	0,1 - 0,15 (D)	0,01 (D)	NO
- XPS-Schaum mit 134a/1234ze					50 (D)	C	0,0066 (CS)	NO
offenzellig	2.F.2b							
- XPS-Schaum mit 152a		Tier 2a	HFKW		-	1 (CS)	NO	NO
- PU-Integralschaum mit 134a/227ea/245fa/365mfc		Tier 2a			-	1 (CS)	NO	NO
- PU-Montageschaum mit 134a/152a		Tier 2a			-	0,5 - 1,5 g/Dose (CS)	1 (CS)	NO
Feuerlöschmittel	**2.F.3**	CS	HFKW		20 (D)	0,001 (CS)	0,01 - 0,04 (CS, D)	0,01(CS)
Aerosole	**2.F.4**							
Dosieraerosole	2.F.4a	Tier 2a	HFKW		-	0,015 (CS)	1 (CS)	NO
Sonstige Aerosole/Novelties	2.F.4b/c	Tier 2a			-	0,015 (CS)	1 (CS)	NO
Lösemittel	**2.F.5**	Tier 2a	HFKW		-	NO	0,5 (D)	NO
Andere Anwendungen, die ODS Ersatzstoffe verwenden	**2.F.6**					NO	NO	NO

Halogenierte Kohlenwasserstoffe werden in verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Während die eingesetzten Stoffe in einigen, so genannten offenen Anwendungen vollständig und noch im selben Jahr emittieren, kommt es in anderen Anwendungen zu großen Speichermengen (stocks). Aus diesen „stocks“ emittieren sie ganz oder teilweise über die gesamte Nutzungsphase und bei der Entsorgung. Die verwendeten Emissionsfaktoren (EF) sind länderspezifisch (CS) oder IPCC Default (D).

Die in einem Berichtsjahr langsam aus dem „stock“ entweichenden sowie bei der Herstellung und Entsorgung emittierenden Mengen an HFKW und FKW stellen die Emissionen dar, wie sie in den Inventartabellen angegeben sind.

Die für die einzelnen Produktgruppen erhobenen Emissionsdaten setzen sich im Allgemeinen aus Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungsemissionen zusammen. Sofern nicht bei den jeweiligen Methoden etwas anderes angegeben ist, werden sie folgendermaßen berechnet:

1. Herstellungsemissionen werden über den Inlands-Neuverbrauch als Aktivitätsrate bestimmt:

   Gleichung 1:

   $EM_{Herstellung}$ = Inlands-Neuverbrauch * $EF_{Herstellung}$

2. Anwendungsemissionen basieren auf dem Endbestand an Schadstoff als Aktivitätsrate und werden mit folgender Formel berechnet:

   Gleichung 2:

   $EM_{Anwendung}$ = Endbestand * $EF_{Anwendung}$

   Der Endbestand des aktuellen Jahres wird durch Summation der jährlichen Neuzugänge vom ersten bis zum aktuellen Berichtsjahr errechnet. Der Neuzugang eines Jahres ist der

Inlands-Neuverbrauch, von dem Herstellungsemissionen und durch Abgänge verursachte Verluste subtrahiert werden. Hier muss auch noch der Außenhandel mit berücksichtigt werden.

3. Entsorgungsemissionen beziehen sich auf den Neuzugang des Jahres, das x Jahre (entsprechend der Produktlebensdauer x) vor dem aktuellen Berichtsjahr n liegt:

   Gleichung 3:

   $EM_{Entsorgung}$ = Neuzugang(n-x) * $EF_{Entsorgung}$

10. Bei Kälte- und Klimaanlagen werden die Entsorgungsemissionen entsprechend Vol. 3, Gleichung 7.14 der 2006 IPCC Guidelines berechnet:

    Gleichung 4:

    $EM_{Entsorgung}$ = Neuzugang(n-x) * Restfüllstand * (1-Rückgewinnungsfaktor)

In diesem Kapitel werden die Abschnitte *Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz*, *Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung*, *Kategoriespezifische Rückrechnungen* und *Geplante Verbesserungen* zum Teil auf die gesamte Quellgruppe, die Unterkategorie oder auch nur auf eine Teilgruppe bezogen. Der Bezug ist aus der Angabe der CRF-Nummer in der Abschnittsüberschrift ersichtlich.

4.7.1 Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1)

4.7.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.1)

Dieser Bereich wird in die Teilgruppen Gewerbekälte, Haushaltskälte, Industriekälte, Transportkälte, mobile Klimaanlagen und stationäre Klimaanlagen (siehe Tabelle 203) gegliedert.

Die mit Abstand wichtigsten HFKW-Kältemittel sind in Deutschland der HFKW-134a und der HFKW-1234yf sowie die Gemische R404A, R407C, R410A, R422D und R507A. HFKW-1234yf ist aber kein berichtspflichtiges Gas unter der Klimarahmenkonvention.

Für die Berechnung der HFKW-Emissionen aus den Untergruppen der Kälte- und Klimaanlagen werden je nach Gruppe Einzeldaten erhoben oder Kältemittel-Modelle genutzt und bei der jeweiligen Methode beschrieben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen. Entsorgungsemissionen in dieser Kategorie treten erstmals im Jahr 2000 auf, in den Unterkategorien 2.F.1.a (Gewerbekälte) und 2.F.1.e (mobile Klimaanlagen).

4.7.1.2 Methodische Aspekte (2.F.1)

4.7.1.2.1 Gewerbekälte (2.F.1.a)

Die Gewerbekälte ist die größte und zugleich heterogenste Anwendung von (H)FKW. Es erfolgt eine Unterteilung in steckerfertige Geräte, Verflüssigungssätze und Zentralanlagen. Bei Zentralanlagen resultiert die Vielfalt in Bezug auf Bauart, Größe, Kältemitteltyp und Emissionsdichtheit aus der überwiegenden Konzeption individuell angepasster Lösungen. Bei steckerfertigen Geräten und Verflüssigungssätzen ist dies weniger ausgeprägt.

Der Einsatz der (H)FKW als Kältemittel begann nur zögerlich. So wurde der HFKW-134a erst Mitte 1993 in nennenswertem Umfang eingesetzt. Die Kältemittelgemische R404A und R407C kamen ebenfalls erst ab 1993 zum Einsatz, die verschiedenen R422-Gemische, die als drop-in Kältemittel bei der Umrüstung von HFCKW-22-Anlagen eingesetzt wurden, wurden zwischen

2009 und 2013 verwendet. Daneben kamen seit 1993 in geringem Umfang auch FKW-haltige Kältemittelgemische wie R403A/B, R413A, Isceon 89 und R508A/B als drop-in Kältemittel zum Einsatz. Seit 2007 findet R410A Verwendung in kleinen Zentralanlagen. Für die Umrüstung von R404A-Zentralanlagen kommen seit 2013 das Kältemittelgemisch R449A und seit 2014 auch R448A zum Einsatz. R449A, R452A und R513A finden seit 2016 auch in Verflüssigungssätzen Verwendung, seit 2019 auch der nicht berichtspflichtige HFKW-1234ze sowie R454C und R455A, die beiden letztgenannten ebenso in steckerfertigen Geräten. Als halogenfreie Alternativen werden seit 2002 auch CO_2 (R744) und seit 2010 Propan (R290) verwendet.

Heute sind neben HFKW-134a die Mischungen R404A und R449A die wichtigsten HFKW-Kältemittel im Bestand stationärer Gewerbekälteanlagen, daneben spielt das halogenfreie Kältemittel R744 eine wichtige Rolle. Ab 2020 ist das Inverkehrbringen von gewerblich genutzten Kühl- und Gefriergeräten, die HFKW-Kältemittel mit einem GWP von 2.500 oder mehr verwenden, laut EU F-Gas Verordnung verboten, ab 2022 beträgt die GWP-Grenze sogar 150. Für stationäre Kälteanlagen gilt ebenfalls ab 2020 ein Verbot des Inverkehrbringens ab einem GWP des Kältemittels von 2.500 oder mehr (F-GasV, 2014). Die Auswirkungen dieser Verbote sind bereits heute sichtbar – bei Neuanlagen und neuen Geräten kommt seit 2019 kein R404A mehr zum Einsatz.

Aufgrund der außerordentlich großen Zahl an Kältefachbetrieben ist eine detaillierte statistische Erfassung der Kältemittel-Bestände nicht praktikabel, so dass eine andere Berechnungsmethode angewendet wird.

- Zur Berechnung der Emissionen von *Zentralanlagen* der Gewerbekälte, die im Lebensmitteleinzelhandel zum Einsatz kommen, wird das folgende Kältemittelmodell verwendet (Schwarz et al. 2012):
- Der Außenhandel mit vor Ort errichteten Kälteanlagen ist vernachlässigbar, so dass der jährliche HFKW-Verbrauch für Neuanlagen gleich dem HFKW-Zugang in Neuanlagen ist.
- Ausgangspunkt für die Berechnungen ist nicht die Zahl der Betriebe oder die installierte Kälteleistung, sondern die Verkaufsfläche der Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte, da diese jährlich statistisch erfasst wird. Für Discountmärkte, deren Verkaufsflächen in Deutschland relativ konstant bei 800 m^2 liegen, wird angenommen, dass der Kältebedarf und damit die Kältemittelmenge für alle Märkte gleich groß sind. Daher ist hier die Anzahl der Discountmärkte Ausgangspunkt für weitere Berechnungen. Auch die Anzahl der Discounter wird jährlich statistisch erfasst.
- Von einem typischen Supermarkt mittlerer Größe wird auf Basis einer Studie des EPEE[81] (SKM Enviros 2010) der Koeffizient „Kilogramm pro Quadratmeter Verkaufsfläche“ abgeleitet. Dieser beträgt 0,23 kg/m^2. Für Discounter wird der Koeffizient „Kilogramm pro Discount-Markt“ bestimmt. Er hat eine Größe von 80 kg/Markt. Mit Hilfe dieser Koeffizienten wird der jährliche Kältemittelbestand für die drei Marktformate Discount-Märkte, kleine und große Supermärkte berechnet.
- Die nach Kältemitteltypen untergliederten Kältemittelbestände der verschiedenen Marktformate werden mit Hilfe von prozentualen Anteilen der verwendeten Kältemitteltypen bestimmt. Die Kältemittelanteile werden in statischen Rechenmodellen abgeleitet, die auf Expertenschätzungen beruhen. Hierbei wird zwischen großen Supermärkten (Verkaufsflächen über 1.500 m^2), kleinen Supermärkten (Verkaufsflächen zwischen 400 und 1.500 m^2) und Discount-Märkten (Verkaufsflächen von 800 m^2) unterschieden.

[81] EPEE: The European Partnership for Energy and the Environment.

- Die Division der Kältemittelbestände durch die durchschnittliche Lebensdauer der Anlagen (10 Jahre für Discount-Märkte, 14 Jahre für alle anderen Marktformate) führt zum HFKW-Zugang in Neuanlagen.
- Herstellungsemissionen und Bestandsemissionen werden durch Gleichung 1 und Gleichung 2 errechnet. Die Herstellung erfolgt i.d.R. vor Ort.
- Der Austausch von FCKW und HFCKW in Altanlagen wird gesondert berücksichtigt.
- Entsorgungsemissionen treten bei Zentralanlagen erstmalig im Jahr 2000 auf. Der Abgang von Kältemittel wird mit Hilfe der durchschnittlichen Lebensdauer, bei Zentralanlagen in Discount-Märkten 10 Jahre, bei Zentralanlagen aller anderen Marktformate 14 Jahre, errechnet. Die nominale Entsorgungsmenge entspricht dabei dem Neuzugang, den eine Anlage bei Inbetriebnahme enthielt. In der Praxis enthalten die Anlagen zum Zeitpunkt der Entsorgung jedoch weniger Kältemittel als die nominale Füllmenge, da in der Zeit vor der Außerbetriebnahme in der Regel nicht nachgefüllt wird. Daher wird der bei der Entsorgung vorliegende aktuelle Füllstand, die „effektive Entsorgungsmenge", mit Hilfe von prozentualen Restfüllständen ermittelt. In die Bestimmung der Restfüllstände fließt als wichtigster Faktor der Kältemittelverlust ein, bei dem eine Anlage nachgefüllt werden muss, um ihre Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Der effektive Füllstand am Lebensende ist um die Hälfte der Differenz zwischen technischem Mindestfüllstand und Nominalfüllmenge größer als der technische Mindestfüllstand. Er beträgt für Zentralanlagen 87,5 % der Nominalfüllmenge.
- Die Entsorgungsemissionen werden durch Multiplikation der so bestimmten „effektiven Entsorgungsmenge mit dem umgekehrten Rückgewinnungsfaktor mit Gleichung 4 berechnet.
- Emissionen der nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf und HFKW-1234ze aus den Kältemittelgemischen R448A und R449A werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases" berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Auch bei *Verflüssigungssätzen* der Gewerbekälte ist der Kältemittelbestand zentraler Bezugspunkt des Kältemittelmodells zur Berechnung der Emissionen:

- Ausgangspunkt für die Berechnungen ist die Anzahl von Betrieben in den zahlreichen Anwendungssektoren von Verflüssigungssätzen, deren Auswahl auf einer Studie des VDMA (2011) beruht. Dazu zählen Getränkeabholmärkte, Tankstellenshops, Gärtnereien, Blumengeschäfte, Blumengroßhandel, Kantinen, Caterer, Krankenhäuser, Pflegeheime, Gaststätten- und Beherbergungsgewerbe, Fleischerfachbetriebe und -filialen, Bäckereihandwerk und -filialen, Discount-Märkte, kleine Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte und der Facheinzelhandel mit Nahrungsmitteln. Die Anzahl der Betriebe wird aus öffentlich zugänglichen Statistiken jährlich aktualisiert.
- Der Kältemittelbestand für die einzelnen Sektoren berechnet sich als Produkt aus der jeweiligen Anzahl der Betriebe, den sektorspezifischen Füllmengen, die durch Literaturrecherche und Expertenbefragungen ermittelt wurden, und den prozentualen Anteilen der verwendeten Kältemitteltypen. Die Kältemittelanteile werden in einem statischen Rechenmodell abgeleitet (Winfried Schwarz et al., 2012).
- Die Division des Gesamtkältemittelbestands durch die durchschnittliche Lebensdauer von Verflüssigungssätzen (12 Jahre) führt zum HFKW-Zugang in Neuanlagen.
- Herstellungsemissionen und Bestandsemissionen werden durch Gleichung 1 und Gleichung 2 errechnet.

- Durch Gleichung 4 werden die Entsorgungsemissionen berechnet. Die nominale Entsorgungsmenge ist sowohl quantitativ als auch von den Kältemittelanteilen her mit der Erstbefüllung vor 12 Jahren identisch. Der effektive Füllstand am Lebensende beträgt für Verflüssigungssätze 85 % der Nominalfüllmenge.
- Emissionen der nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf und HFKW-1234ze aus den Kältemittelgemischen R448A, R449A, R452A, R454C, R455A und R513A bzw. aus der Verwendung als Einzelstoff werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases" berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Die Anwendungssektoren für hermetische *steckerfertige Geräte* decken sich überwiegend mit denen für Verflüssigungssätze. Ergänzend kommen noch Verkaufsautomaten, wie zum Beispiel Getränkekühler, und Kühlzentrifugen hinzu. Die Berechnung der Emissionen entspricht dem unter Verflüssigungssätzen beschriebenen Kältemittelmodell. Die durchschnittliche Lebensdauer der Geräte beträgt 10 Jahre, der Restfüllstand bei Entsorgung 90 % der Nominalfüllmenge.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturauswertungen.

Die Befüllungsemissionen sind bei kältetechnischen Anlagen im Allgemeinen gering. Die 2006 IPCC Guidelines geben für „initial emission" in Vol. 3, Tabelle 7.9 Werte von 0,5 bis 3 Prozent der Erstbefüllung für steckerfertige Geräte sowie mittelgroße und große Gewerbekälteanlagen an. Der länderspezifische $EF_{Herstellung}$ liegt mit 0,5 % für steckerfertige Geräte sowie 1 % für Zentralanlagen und Verflüssigungssätze innerhalb dieses Bereichs.

Die laufenden (H)FKW-Emissionen aus stationären Kälteanlagen der Gewerbekälte differieren nach der Anlagenbauart stark voneinander. So reicht der Kältemittelverlust von 1 bis 1,4 % für steckerfertige Einzelgeräte über 4,9 bis 9,7 % für Verflüssigungssätze bis zu 8,1 bis 19,5 % für Zentralanlagen. Die Emissionsfaktoren der Anwendung sinken für alle Anlagen und Geräte der Gewerbekälte von 1993 an kontinuierlich ab (siehe Tabelle 203), um dem Umstand des zunehmend sorgsameren Umgangs mit HFKW-Kältemitteln Rechnung zu tragen. Die verwendeten Emissionsfaktoren liegen verglichen mit den in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Werten von 1 bis 15 % für Einzelgeräte und 10 bis 35 % für mittelgroße und große gewerbliche Kälteanlagen im unteren Bereich (Einzelgeräte und Zentralanlagen bis zum Berichtsjahr 2014) bzw. darunter (Verflüssigungssätze und Zentralanlagen ab dem Berichtsjahr 2015).

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 (Einzelgeräte, Zentralanlagen in Discount-Märkten), 12 (Verflüssigungssätze) bzw. 14 Jahren (Zentralanlagen in allen Marktformaten außer Discount-Märkten) ein. Die verwendeten Lebensdauern liegen damit innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) angegebenen Werten von 10 bis 15 (Einzelgeräte) bzw. 7 bis 15 Jahren (mittelgroße und große gewerbliche Kälteanlagen).

Der in den Geräten und Anlagen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 90 % (Einzelgeräte), 85 % (Verflüssigungssätze) bzw. 87,5 % (Zentralanlagen). In den 2006 IPCC Guidelines sind Werte von 0 - 80 % (Einzelgeräte) und 50 - 100 % (mittelgroße und große gewerbliche Kälteanlagen) angegeben. Der verwendete Restfüllstand von Einzelgeräten liegt somit über dem angegebenen Wertebereich, alle anderen verwendeten Werte sind Default-Werte.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Für steckerfertige Einzelgeräte beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2003 32,6 %, im Jahr 2020 60 %, bei Verflüssigungssätzen beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2005 47,5 % und im Jahr 2020 bereits 80 %, bei Zentralanlagen steigt der Rückgewinnungsfaktor von 42,9 % im Jahr 2000 auf 80 % im Jahr 2020. Damit liegen die meisten verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 70 %, lediglich die für Zentralanlagen ab dem Berichtsjahr 2009 und für Verflüssigungssätze ab dem Berichtsjahr 2016 genutzten Rückgewinnungsfaktoren liegen über den IPCC Werten.

Aktivitätsdaten

Die Verkaufsflächen der Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte werden jährlich statistisch durch zwei Marktforschungsinstitute[82] erfasst. Das EHI erhebt ebenfalls die Anzahl der Discounter. Auch die Anzahl der Gewerbebetriebe wird jährlich aus verschiedenen, öffentlich verfügbaren Statistiken aktualisiert (Winfried Schwarz et al., 2012).

Der jährliche Neuzugang von FKW-116 (C_2F_6), FKW-218 (C_3F_8), HFKW-125 und HFKW-23, die in den Kältemittelgemischen R508A, R508B, Isceon MO 89 und R413A enthalten sind bzw. im Fall von HFKW-23 auch als Einstoffkältemittel verwendet wird, wird der jährlichen nationalen Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen.

Die typische kältetechnische Ausstattung von Gewerbebetrieben beruht auf Literaturauswertung und Expertenschätzung. Der Koeffizient „Kilogramm pro Quadratmeter Verkaufsfläche“ bzw. „Kilogramm pro Discounter“ ist von Experten mit Hilfe von Fachliteratur (SKM Enviros (2010), Clodic and Barrault (2011), Clodic et al. (2012)) semiempirisch bestimmt worden. Die Füllmengen von Verflüssigungssätzen und steckerfertigen Geräten sind durch Fachgespräche mit deutschen Kälteanlagenbauern und durch Literaturrecherche bestimmt worden.

4.7.1.2.2 Haushaltskälte (2.F.1.b)

1994 stellten inländische Produzenten von *Haushaltskühl- und Gefriergeräten* von FCKW-12 auf HFKW-134a um, kurze Zeit später erfolgte in Deutschland die Umstellung auf Isobutan (R600a). Ein geringer Anteil von Geräten mit HFKW-134a wurde aber zwischen 1993 und 2014 importiert. Ab 2015 ist der Import von Haushaltskühl- und -gefriergeräten, die Kältemittel mit einem GWP von 150 oder mehr verwenden, laut EU F-Gas Verordnung verboten (F-GasV, 2014).

Herstellungsverluste und der Neuverbrauch fürs Inland brauchen nicht bestimmt zu werden, da Befüllungen mit HFKW nur im Ausland erfolgten.

Mit Gleichung 2 werden die jährlichen HFKW-Emissionen auf Basis des Endbestands berechnet. Dazu ermittelt und aggregiert man den jährlichen HFKW-Neuzugang seit 1993 und subtrahiert die aggregierten jährlichen Abgänge durch Entsorgung.

Entsorgungsemissionen, die bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ab dem Jahr 2008 auftreten, werden mit Gleichung 4 berechnet.

In Deutschland bieten eine Vielzahl von ausländischen Unternehmen seit Ende der 1990er Jahre Speiseeismaschinen für den Heimbedarf an. Kompressorbetriebene Speiseeismaschinen arbeiten wie eine klassische Kälteanlage mit Kältemittel. Zum Einsatz kommen seit 1997 der HFKW-134a und das Kältemittelgemisch R404A, seit 2015 zunehmend auch Geräte mit R600a. Die Füllmengen der Speiseeismaschinen mit HFKW-Kältemittel bewegen sich, je nach Größe des

[82] EHI – EuroHandelsinstitut, Köln, The Nielsen Company GmbH, Frankfurt am Main.

Gerätes, zwischen etwa 30 g und über 100 g. Daraus ergibt sich eine mittlere HFKW-Füllmenge von etwa 75 g.

Da keine Produktion im Inland stattfindet, fallen keine inländischen Herstellungsemissionen an.

Die jährlichen HFKW-Emissionen auf Basis des Endbestands werden mit Gleichung 2 berechnet. Der Endbestand errechnet sich aus den aggregierten jährlichen HFKW-Neuzugängen seit 1997 abzüglich der aggregierten jährlichen Abgänge durch Entsorgung.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren, also seit 2012, ein. Die dabei entstehenden Emissionen werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Haushaltskühl- und -gefriergeräten werden auf 0,3 % geschätzt und liegen damit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0,1 bis 0,5 %.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ein. Die verwendete Lebensdauer liegt damit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines angegebenen Wertebereichs von 12 bis 20 Jahren.

Der in den Geräten enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 95,5 %. In den 2006 IPCC Guidelines sind Werte von 0 - 80 % angegeben. Der verwendete Wert liegt somit oberhalb des in den 2006 IPCC Guidelines angegebenen Bereichs. Der Grund dafür sind die geringen Kältemittelverluste während der Nutzungsphase (0,3 % pro Jahr, 4,5 % über die gesamte Nutzungsphase), die keinen kleineren Restfüllstand rechtfertigen.

Der Rückgewinnungsfaktor beträgt 73,3 % und liegt damit leicht oberhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 70 %. Der höhere Rückgewinnungsfaktor ist auf die laut Elektrogesetz (ElektroG, 2015) gesetzlich geregelte Entsorgung von Haushaltsgeräten zurückzuführen.

Für Speiseeismaschinen gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b). Alle zur Berechnung herangezogenen Werte sind somit länderspezifisch (siehe Tabelle 203). Die Bestandsemissionen werden auf 0,3 % geschätzt. Die durchschnittliche Lebensdauer beträgt 15 Jahre. Der Restfüllstand bezogen auf die Erstfüllmenge liegt ebenso wie bei Haushaltskühlgeräten bei 95,5 %, die Rückgewinnungsrate wird auf 53 % (2012) bis 65 % (2020) geschätzt.

Aktivitätsdaten

Der jährliche Neuzugang von 1 % an Haushaltskühl- und Haushaltsgefriergeräten ist eine Schätzung führender Kühlgerätehersteller.

Unterstützt durch Aussagen eines namhaften Herstellers von Speiseeismaschinen wurde die Anzahl der in Deutschland befindlichen Speiseeismaschinen im Jahr 2016 auf 1,5 % der Gesamtzahl der Haushalte geschätzt. Der jährliche Neuzugang liegt konstant bei 6,7 % (Warncke et al., 2018).

4.7.1.2.3 Industriekälte (2.F.1.c)

Die in diesem Sektor zusammengefasste Kälte im Industriebetrieb dient der Erzeugung von Produkten, in der Regel von Nahrungsmitteln, die gekühlt oder gefroren werden. Wie in der *Gewerbekälte* ist die kältetechnische Ausstattung in der Regel nicht serienmäßig, sondern individuell angepasst, so dass für die Berechnung der Emissionen ein Kältemittelmodell verwendet werden muss.

Fluorhaltige Kältemittel sind in der Industrie, besonders in der Lebensmittelindustrie kein allgemeiner Standard und natürliche Kältemittel, hauptsächlich Ammoniak (NH_3), werden viel häufiger eingesetzt als in anderen Sektoren. Als fluorhaltige Kältemittel werden in der Industriekälte R404A, HFKW-134a, R407C, R507A und R422D als Ersatzkältemittel für umgerüstete HFCKW-22-Anlagen eingesetzt. Daneben spielen HFKW-23 und FKW-116 bei Tieftemperaturanlagen, sowie das Kältemittel HFKW-227ea zur Kranklimatisierung und für Hochtemperaturwärmepumpen eine Rolle.

Der Einsatz fluorhaltiger Kältemittel beginnt in Deutschland 1993. Entsorgungsemissionen treten erstmalig 2002 aus umgerüsteten FCKW-12 und HFCKW-22-Anlagen auf.

Für die *Industriekälte* wird folgendes Kältemittel-Modell genutzt:

- Der Kältemittelbestand ist zentraler Bezugspunkt des Modells. Er gliedert sich in die zwölf großen Sektoren der Industriekälte: Bierbrauereien, Weinerzeugung, Fleischproduktion, Molkereien, Kühlhäuser, Schokoladeproduktion, Tiefkühlkost- und Fruchtsafterzeugung, Eisbahnen, Milchkühlung in der Landwirtschaft, sonstige Industrie (80 % Chemische Industrie) und hermetisch geschlossene Geräte der verarbeitenden Industrie. Die Berechnungsbasis zur Bestimmung des Kältemittelbestands sind die Produktionsmengen von Gütern, die über öffentlich zugängliche Waren-Statistiken jährlich aktualisiert werden.
- In den drei kleineren Sektoren der Industriekälte Kranklimatisierung, Hochtemperaturwärmepumpen und Tieftemperaturkühlung mit HFKW-23 (vornehmlich in der Kunststoffindustrie) und R508A/B, wird der jährliche Neuzugang als Ausgangsgröße zur Berechnung des Bestands und aller Emissionen verwendet.
- Basierend auf diesen Produktionsmengen erfolgt die Umrechnung in die für die Kühlung der Güter in den zwölf großen Sektoren installierte Kälteleistung. Die dafür benötigten Kennziffern „installierte Kälteleistung pro jährliche Güterproduktion“ wurden basierend auf Fachliteratur empirisch ermittelt.
- Die Abschätzung der Kältemittelmenge für diese Kälteleistungen erfolgt auf Basis von Kältemittelraten für Plus- und Minuskühlung sowie direkter und indirekter Kühlung. Die verwendeten Kältemittelraten wurden ebenfalls durch Literaturrecherche, u.a. Clodic and Barrault (2011) und Clodic et al. (2012), ermittelt. Sie liegen zwischen 2 kg/kW für indirekte Plus-Kühlung und 8,8 kg/kW für direkte Minus-Kühlung. Aus der Kombination dieser Werte mit jeweiliger sektorspezifischer Wichtung der vier Kühlungsformen errechnen sich die typischen Füllmengen pro installierte Kälteleistung für die zwölf Sektoren.
- Der Außenhandel mit vor Ort errichteten Kälteanlagen ist vernachlässigbar, so dass der jährliche HFKW-Verbrauch für Neuanlagen gleich dem HFKW-Zugang in Neuanlagen ist.
- Der Kältemittelbestand ist auch Berechnungsgrundlage für die Entsorgungsmenge. Sie wird in jedem Sektor durch Division des Bestands durch die Anlagenlebensdauer errechnet. Diese liegt für die meisten Sektoren bei 30 Jahren, für Milchviehbetriebe und Eisbahnen bei 20 Jahren, für steckerfertige Geräte, Kranklimaanlagen, Hochtemperaturwärmepumpen und Tieftemperaturanwendungen bei 10 Jahren.
- Die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemitteltypen, die sich zeitlich für Bestand, Neuzugang und Entsorgungsmenge ändern, werden für jeden Sektor in einem statischen Rechenmodell abgeleitet (Winfried Schwarz et al., 2012).
- Der Austausch von FCKW und HFCKW in Altanlagen wird gesondert berücksichtigt.
- Herstellungsemissionen und Bestandsemissionen werden durch Gleichung 1 und Gleichung 2 errechnet.

- Entsorgungsemissionen werden durch Gleichung 4 berechnet. Die nominale Entsorgungsmenge ist mit der Erstbefüllung identisch. Der effektive Füllstand am Lebensende beträgt für alle Sektoren 85 % der Nominalfüllmenge, nur bei steckerfertigen Geräten ist er mit 90 % höher.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden Emissionsfaktoren sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturauswertungen.

Die Befüllungsemissionen sind bei Industriekälteanlagen im Allgemeinen gering. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) geben in Vol. 3, Tabelle 7.9 für „initial emission“ 0,5 bis 3 Prozent der Erstbefüllung an, der länderspezifische $EF_{Herstellung}$ liegt mit 1 %, für die sektoralen Anwendungsbereiche bzw. mit 0,5 % für steckerfertige Geräte im unteren Bereich dieser Vorgaben.

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Industriekälteanlagen gehen in allen Sektoren außer hermetischen Geräten kontinuierlich von 8,8 % im Jahr 1993 auf 4,55 % im Jahr 2020 zurück, da die Kälteanlagen bedingt durch nationale und europäische gesetzliche Regelungen zunehmend dichter werden. Sie liegen im unteren Bereich bzw. unterhalb der in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Werte von 7 bis 25 Prozent. Bei steckerfertigen Geräten geht der entsprechende Rückgang wie in der Gewerbekälte auch von 1,4 % im Jahr 1994 auf 1 % ab dem Jahr 2009.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 Jahren (steckerfertige Einzelgeräte, Kranklimaanlagen, Hochtemperaturwärmepumpen, Tieftemperaturanwendungen und Kunststoffindustrie), 20 Jahren (Milchviehbetriebe, Eisbahnen) bzw. 30 Jahren (Lebensmittelindustrie, Kühlhäuser, chemische Industrie) ein. Die verwendeten Lebensdauern liegen damit mit Ausnahme der Anwendungsbereiche mit 10 Jahren Lebensdauer innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Werte von 15 bis 30 Jahren.

Der in den Geräten und Anlagen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 90 % (Einzelgeräte) bzw. 85 % (sektorale Anwendungsbereiche). In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 50 bis 100 % für Industriekälteanlagen angegeben. Die verwendeten Werte sind somit alle Default-Werte.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Für steckerfertige Einzelgeräte beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2004 33,7 %, im Jahr 2020 60 %, bei den Kälteanlagen der sektoralen Anwendungsbereiche beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2002 45 % und im Jahr 2020 80 %. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 90 %.

Aktivitätsdaten

Zahlreiche Zeitreihen für die Produktionsmengen von Nahrungsmitteln finden sich in den Statistiken des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) oder des Statistischen Bundesamtes. Zudem sind Daten von Industrieverbänden wie dem Verband Deutscher Kühlhäuser und Kühllogistikunternehmen e.V. (VDKL) oder dem Bundesverband der

Deutschen Süßwarenindustrie (BDSI) sowie spezialisierten Instituten, z.B. dem Deutschen Weininstitut, verfügbar.

Die Stückzahlen der steckerfertigen Geräte stammen aus einer Studie des VDMA (2011) und Aussagen von Branchenexperten.

Der jährliche Neuzugang von HFKW-227ea und HFKW-23 (Kranklimatisierung, Hochtemperaturwärmepumpen und Tieftemperaturkühlung) wird der jährlichen nationalen Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen.

Die Kennziffern „installierte Kälteleistung pro jährliche Güterproduktion“ und die Kältemittelraten für Plus- und Minuskühlung sowie direkte und indirekte Kühlung wurden basierend auf Fachliteratur ermittelt.

4.7.1.2.4 Transportkälte (Kühlfahrzeuge und –container) (2.F.1.d)

HFKW werden in *Kühlfahrzeugen* seit 1993 als Kältemittel eingesetzt. Heute kommen überwiegend der HFKW-134a und die Kältemittelgemische R404A und R410A zum Einsatz. Seit 2015 auch R452A. Dem Ladevolumen der Kühlfahrzeuge entsprechend variieren Größe und Kältemittelfüllung der Kälteaggregate.

Kühlcontainer werden vor allem für den Transport verderblicher Waren auf Seeschiffen eingesetzt. Da die Emissionen vorzugsweise in internationalen Gewässern erfolgen, werden die Kältemittelemissionen entsprechend dem Anteil eines Landes am Welthandel aufgeteilt. Deutschland werden 10 % der weltweiten Emissionen aus dem Bestand von Kühlcontainern zugerechnet. Bevorzugtes Kältemittel ist seit 1993 der HFKW-134a. Seit 1997 wird auch R404A eingesetzt, seit 2018 kommen zunehmend die Kältemittelblends R452A und R513A zum Einsatz.

Es wird folgendes Kältemittelmodell für *Kühlfahrzeuge* angewendet (Warncke et al., 2018):

- Die Kühlfahrzeuge werden entsprechend ihres Gewichts in fünf Größenklassen eingeteilt: Van <3,5 t, Van mit 3,5-7,5 t, Lkw mit 7,5-12 t, Lkw > 12 t und Trailer > 26 t Gesamtgewicht.
- Den Größenklassen werden Kältemittel (Typ) und spezifische Kältemittel-Füllmengen zugeordnet und jedem Kältemittel ein prozentualer Anteil an der Größenklasse zugeteilt.
- Bei Trailern > 26 t Gesamtgewicht dominierte lange Zeit das Kältemittel R404A mit einem jährlichen Anteil von 95 % (1993-1994) bzw. 85 % (1995-2014). Ab 2018 liegt der R404A-Anteil bei Null. Seit 2015 wird in zunehmendem Maße R452A eingesetzt, das seit 2017 sogar den Markt dominiert. Sein Anteil lag 2015 bei 13 % und 2019 bereits bei 85 %. Darüber hinaus kamen seit 1993 auch HFKW-134a (5 %) und seit 1995 R410A (10 %) zum Einsatz.
- Bei Lkw > 12 t Gesamtgewicht lag der Anteil von R404A bei 90 % (1993-1994) bzw. 80 % (1995-2014) und sank ab 2015 kontinuierlich auf Null im Jahr 2019 ab. Der Anteil von HFKW-134a (ab 1993) und R410A (ab 1995) lag bei 10 %. Seit 2015 wurde zunehmend R452A verwendet, das seit 2018 das am häufigsten verwendete Kältemittel dieser Größenklasse ist. 2019 waren es 80 %.
- In Lkw mit 7,5 - 12 t Gesamtgewicht wurden seit 1993 R404A und HFKW-134a verwendet. Der Anteil von HFKW-134a lag bei 30 % (ab 1993), der von R404A bei 70 % (1993-1994), sank dann auf 60 % (1995-2014) und ab 2015 kontinuierlich weiter auf 15 % im Jahr 2018 bzw. Null im Jahr 2019. Ab 1995 kam auch R410A mit einem Anteil von 10 % zum Einsatz. Der Anteil von R452A lag 2015 noch bei 1 % und stieg bis 2019 kontinuierlich auf 60 %.

- In Vans mit 3,5 - 7,5 t Gesamtgewicht wurden seit 1993 70 % R404A und 30 % HFKW-134a verwendet. 2018 betrug der Anteil von R404A nur noch 15 %, 2019 wurde es nicht mehr verwendet. Dafür kam ab 2018 R452A zum Einsatz, dessen Anteil 2019 bei 70 % lag.
- Von 1993 bis 2005 wurde in Vans mit einem Gesamtgewicht unter 3,5 t ausschließlich HFKW-134a eingesetzt. Von 2006 bis 2017 wurde in 70 % der Vans das Kältemittel R404A eingefüllt, in den restlichen 30 % HFKW-134a. Seit 2018 kommt auch das Kältemittel R452A zum Einsatz, dessen Anteil 2019 bereits bei 70 % lag. Dafür ist der R404A-Anteil ab 2019 auf Null abgesunken.
- Die Anzahl der neu zugelassenen Kühlfahrzeuge und der im Inland befüllten Kühlfahrzeuge (nach Kältemittel) wird für jedes Jahr ermittelt.
- Herstellungsemissionen werden mit Gleichung 1 über den Neuverbrauch zur Befüllung der im Inland produzierten Kühlfahrzeuge berechnet.
- Aus der Anzahl neu zugelassener Kühlfahrzeuge und den o.g. Annahmen ergibt sich der jährliche Neuzugang an Kältemitteln.
- Zwischen 1996 und 1999 wurden in einer gewissen Zahl von Altanlagen FCKW-12 durch HFKW ausgetauscht. Diese Mengen sind dem jährlichen Neuzugang zuzuschlagen.
- Der Jahresendbestand wird durch Aggregation der jährlichen HFKW-Neuzugänge seit 1993 und Subtraktion der Abgänge durch Entsorgung ermittelt.
- Mit Gleichung 2 werden die jährlichen HFKW-Emissionen auf Basis des Endbestands berechnet.
- Entsorgungsemissionen treten bei Kühlfahrzeugen erstmalig im Jahr 2003 auf. Diese werden durch Gleichung 4 errechnet. Die nominale Entsorgungsmenge ist mit dem Neuzugang vor 10 Jahren (bzw. 7 Jahren bei umgerüsteten FCKW-12 Anlagen) identisch. Der effektive Füllstand am Lebensende beträgt 87,5 % der Nominalfüllmenge.
- Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf aus dem Kältemittelgemisch R452A werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Für *Kühlcontainer* wird folgendes Kältemittel-Modell angewendet:

- Die Anzahl der weltweit produzierten Kühlcontainer wird für jedes Jahr ermittelt.
- Der weltweite HFKW-Neuzugang für Kühlcontainer wird mit Hilfe der jährlichen Stückzahlen aus der Weltproduktion in Kombination mit den Füllmengen und den Kältemittelanteilen ermittelt.
- Von 1993 bis 1995 wurde in Kühlcontainern neben dem HFCKW-22 zunehmend HFKW-134a eingesetzt. 1996 lag der Anteil von HFKW-134a bei neuen Kühlcontainern bei 100 %. Ab 1997 kommt auch das Kältemittel R404A zum Einsatz, mit Anteilen zwischen 10 und 20 %. Seit 2018 werden die Kälteaggregate von Kühlcontainern auch mit den Kältemitteln R452A und R513A befüllt, ihre Anteile sind mit 2,5 % bzw. 4,5 % im Jahr 2020 allerdings noch gering.
- Die durchschnittlichen Füllmengen der Kühlcontainer liegen in Abhängigkeit vom verwendeten Kältemittel zwischen 4 kg (R452A) und 6 kg (HFKW-134a in den Jahren 1993 bis 2011).
- Der HFKW-Neuzugang Deutschlands wird aus dem weltweiten Neuzugang entsprechend seinem Anteil am Welthandel, der bei 10 % liegt, berechnet.
- Da Kühlcontainer nur außerhalb Deutschlands produziert werden, fallen im Inland keine Emissionen aus der Befüllung an.

- Der Jahresendbestand wird durch Aggregation der jährlichen HFKW-Neuzugänge seit 1993 und Subtraktion der Abgänge durch Entsorgung ermittelt.
- Bestandsemissionen werden mit Gleichung 2 berechnet.
- Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 14 Jahren, treten Entsorgungsemissionen bei Kühlcontainern erstmals im Jahr 2007 auf. Diese werden durch Gleichung 4 errechnet.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden EF sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturauswertungen.

Die Befüllungsemissionen sind bei Kühlfahrzeugen im Allgemeinen gering. Die Kältemittelverluste beim Befüllen werden auf 5 Gramm pro Anlage geschätzt, unabhängig von deren Größe. Dies ist ein Standardwert für Schlauchverluste bei Vor-Ort-Befüllungen. Werden die Befüllungsemissionen rechnerisch auf den Neuverbrauch bezogen, so ergeben sich Emissionsfaktoren zwischen 0,06 und 0,25 %. Die 2006 IPCC Guidelines geben in Vol. 3, Tabelle 7.9 für „initial emission“ in der Transportkälte 0,2 bis 1 Prozent der Erstbefüllung an. Damit liegen die verwendeten Werte zum größten Teil unter dem in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) vorgeschlagenen Wertebereich.

Da es keine Inlandsproduktion von Kühlcontainern gibt, fallen keine Befüllungsemissionen an.

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Kälteaggregaten von Kühlfahrzeugen werden für Neuanlagen der drei Größenklassen Lkw mit 7,5 - 12 t, Lkw > 12 t und Trailer > 26 t zulässigem Gesamtgewicht auf 15 % geschätzt. Für Vans < 3,5 t und 3,5 - 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht beträgt der Emissionsfaktor 30 %. Für Kühlfahrzeug-Altanlagen (umgerüstete FCKW-12-Anlagen) wird der Emissionsfaktor des Bestands über alle Anlagengrößen auf durchschnittlich 25 % geschätzt. Die Emissionsfaktoren von Kühlfahrzeugen liegen damit an der unteren Grenze des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 15 bis 50 %.

Der Bestandsemissionsfaktor für Kälteaggregate von Kühlcontainern liegt von 1993 bis 2011 konstant bei 10 %, sinkt aber seitdem kontinuierlich (siehe Tabelle 203), um dem Umstand des zunehmend sorgsameren Umgangs mit HFKW-Kältemitteln Rechnung zu tragen. Er beträgt im Jahr 2020 nur noch 5 %. Alle verwendeten Emissionsfaktoren liegen unterhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 15 bis 50 %.

Die Lebensdauer von Kühlfahrzeug-Altanlagen beträgt 7 Jahre, die von Kühlfahrzeug-Neuanlagen 10 Jahre. Die Entsorgung von Kühlcontainern setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 14 Jahren ein. Die verwendeten Lebensdauern liegen damit, mit Ausnahme von Kühlfahrzeug-Altanlagen, über der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Größenordnung von 6 bis 9 Jahren.

Der in Kühlfahrzeugen und Kühlcontainern enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 87,5 %. In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 0 bis 50 % für Transportkälteanlagen angegeben. Die verwendeten Werte sind alle größer als in den Guidelines angegeben, da davon ausgegangen werden muss, dass Transportkälteanlagen, die nur noch über 50 % der Erstfüllmenge verfügen, nicht mehr einwandfrei funktionieren und so eine lückenlose Kühlkette gefährden. Dies ist mit deutschem Recht nicht vereinbar.

Die Rückgewinnungsfaktoren betragen für Kühlfahrzeuge und Kühlcontainer 65,7 %. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 0 bis 70 % und sind Default-Werte.

Aktivitätsdaten

Die Zulassungszahlen von Kühlfahrzeugen nach Gewichtsklassen stammen bis 2008 und ab 2011 aus den statistischen Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes. Da das Kraftfahrt-Bundesamt 2009 und 2010 keine gesonderten Erhebungen für Kühlfahrzeuge durchführte, wurde die Anzahl neuer Kühlfahrzeuge für diese beiden Jahre durch Extrapolation der Zulassungszahlen von Nutzfahrzeugen bestimmt. Die Füllmengen der Kälteaggregate, verwendete Kältemittel und Details zum FCKW-12-Ersatz stammen von Experten der wichtigsten Anbieter von Kühlfahrzeug-Kälteanlagen.

Der Kältemittel-Neuzugang bei Kühlcontainern wird anhand eines Kältemittelmodells, ausgehend von der Anzahl der weltweit produzierten Kühlcontainer, die dem Branchen-Informationsdienst "World Cargo News" entnommen wird, ermittelt. Ein Anteil von 10 % wird Deutschland zugerechnet. Die Füllmengen und Kältemittelanteile wurden basierend auf Expertenbefragungen führender Hersteller von Kühlcontainern ermittelt.

4.7.1.2.5 Mobile Klimaanlagen (2.F.1.e)

Mobile Klimaanlagen sind Fahrzeugklimaanlagen in Personenkraftwagen (Pkw), Lastkraftwagen bzw. Nutzfahrzeugen (Nfz), Bussen, Landmaschinen (Ackerschleppern, Mähdreschern, Feldhäckslern), Schienenfahrzeugen, auf Schiffen, in Flugzeugen und Hubschraubern. Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) werden seit 1991 in mobilen Klimaanlagen eingesetzt. Als HFKW-Kältemittel wird HFKW-134a verwendet. Seit dem Jahr 2012 kommt in Pkw-Klimaanlagen auch der HFKW-1234yf zum Einsatz, seit 2016 auch in kleinen Nutzfahrzeugen der EG-Fahrzeugklasse N1.

Die Zeitreihen zeigen einen signifikanten Anstieg der Emissionen von HFKW-134a von 1995 bis 2015, was in direktem Zusammenhang mit dem vermehrten Einsatz von Klimaanlagen in Fahrzeugen steht, trotz rückläufiger Füllmengen. Danach sinken sie, bedingt durch den Ersatz von HFKW-134a in Neuanlagen durch den nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf sowie der daraus resultierenden Abnahme des HFKW-134a-Bestands, kontinuierlich.

- Für *Pkw* wird folgendes Kältemittelmodell angewendet:
- Die Stückzahlen deutscher Pkw-Produktion sind aus öffentlich zugänglichen Statistiken des Verbands der Automobilindustrie (VDA) jährlich verfügbar. Sie bilden die Datenbasis zur Berechnung der Verbrauchsmengen für die Befüllung.
- Die Jahrgangs-Klimaanlagenquote wird direkt über umfangreiche Herstellerbefragungen erhoben, da keine amtlichen oder öffentlich verfügbaren Statistiken verfügbar sind. Dies gilt auch für die durchschnittlichen Kältemittelfüllmengen, die aus den Angaben für jeden Fahrzeugtyp und den Aussagen von Branchenexperten bestimmt werden.
- Durch Multiplikation der produzierten Stückzahlen mit der Jahrgangs-Klimaanlagenquote und den durchschnittlichen Kältemittelfüllmengen wird die Verbrauchsmenge für die Befüllung berechnet.
- Herstellungsemissionen werden nach Gleichung 1 errechnet.

- Für die Ermittlung des jährlichen Neuzugangs und des Kältemittelbestands in Pkw-Klimaanlagen werden nicht die jährlichen Fahrzeug-Neuzulassungen des Kraftfahrtbundesamtes herangezogen, da der vorzeitige, vor Erreichen der durchschnittlichen Lebensdauer auftretende Fahrzeugschwund aus den Zulassungsjahrgängen, die den Bestand bilden, nicht quantitativ abgeschätzt werden kann. Der Kältemittelbestand wird vielmehr aus den zugelassenen Fahrzeugbeständen nach Alter seit Erstzulassung bestimmt. Diese amtlichen Zahlen sind in der Statistischen Mitteilung des Kraftfahrtbundesamtes (Kraftfahrtbundesamt, Versch. Jahrgänge) für alle benötigten Jahre, d.h. ab 1991, verfügbar und ermöglichen die Bestimmung eines kontinuierlichen und chronologischen Fahrzeugbestands nach Zulassungsjahrgängen in Stückzahlen.
- Auch die Bestimmung der Jahrgangs-Klimaanlagenquote für die zugelassenen Fahrzeuge erfolgt direkt über umfangreiche Herstellerbefragungen. Sie ist nicht identisch mit der Klimaquote für die in Deutschland produzierten Pkw, da auch im Ausland produzierte Pkw berücksichtigt werden müssen. Zu ihrer Bestimmung werden deshalb auch ausländische Unternehmen befragt. Dies gilt ebenso für die Bestimmung der durchschnittlichen Kältemittelfüllmengen der zugelassenen Fahrzeuge.
- Für die Berechnung des Kältemittelbestands eines Zulassungsjahrgangs wird die jahrgangsspezifische Füllmenge mit der Stückzahl klimatisierter Pkw multipliziert. Der Gesamtbestand entspricht der Summe der Kältemittelbestände aller Zulassungsjahrgänge seit 1991.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 berechnet.
- Der Austausch von FCKW in Altanlagen und die Klimaanlagennachrüstung älterer Fahrzeuge werden gesondert berücksichtigt.
- Für die Bestimmung der Entsorgungsmenge werden nur die Altfahrzeuge berücksichtigt, die jährlich in deutschen Demontagebetrieben behandelt werden. Deren Anzahl wird amtlichen Daten für das Altfahrzeugaufkommen (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) entnommen. Gebrauchtwagen- und Altfahrzeugexporte bleiben im Kältemittel-Modell unberücksichtigt, da die bei der Entsorgung auftretenden Emissionen in den Zielländern berichtet werden müssen, und eine Doppelnennung vermieden werden soll.
- Für die demontierten Altfahrzeuge wird eine durchschnittliche Lebensdauer von 15 Jahren angenommen. Durch Multiplikation der Stückzahlen demontierter Fahrzeuge mit der Klimaanlagenquote und der durchschnittlichen Kältemittelfüllmenge des Neuzulassungsjahrgangs vor 15 Jahren, wird die Kältemittelentsorgungsmenge ermittelt.
- Entsorgungsemissionen traten erstmals im Jahr 2002 auf und werden mit Gleichung 4 berechnet.
- Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf berichtet Deutschland gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig unter „additional greenhouse gases“. Die HFKW-1234yf-Emissionen werden mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen zusammengefasst und in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 berichtet.

Die Kältemittelmodelle für *Nutzfahrzeuge* und *Busse* sind ähnlich aufgebaut wie das Modell für Pkw. Eine ausführliche Beschreibung der Modelle findet sich in (Winfried Schwarz et al., 2012).

Das für *Landmaschinen*, *Schiffe* und *Schienenfahrzeuge* genutzte Kältemittelmodell sieht folgendermaßen aus:

- Für Schiffe und Schienenfahrzeuge werden die Kältemittelemissionen auf Basis der jährlichen Neuinstallationen von Klimaanlagen in Schiffen (Ausgangsdaten: Schiffsneubauten für die deutsche Flotte) und in Schienenfahrzeugen (Ausgangsdaten: Neubeschaffungen der deutschen Bahn und privater Unternehmen) und deren Füllmengen bestimmt.
- Das Kältemittelmodell für Klimaanlagen in Landmaschinen beruht auf der Ermittlung der Anzahl der jährlichen Fahrzeug-Neuzulassungen, der durchschnittlichen Klimaanlagenquote und der durchschnittlichen Füllmenge der verschiedenen Landmaschinentypen.
- Der jährliche Neuzugang sowie der Endbestand an HFKW-134a für jeden Bereich wird aus den Angaben zuvor ermittelt.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 durch Multiplikation des Endbestandes für jeden Bereich mit dem jeweiligen $EF_{Anwendung}$ errechnet.
- Der inländische Verbrauch an HFKW-134a zur Herstellung von mobilen Klimaanlagen wird aufbauend auf Produktionsstückzahlen ermittelt. Die Herstellungsemissionen werden nach Gleichung 1 errechnet.
- Entsorgungsemissionen werden durch Gleichung 4 errechnet. Sie treten bei Landmaschinen erstmalig im Jahr 2004, nach Ablauf einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 Jahren, auf. Bei Schienenfahrzeugen kommt es erstmalig im Jahr 2017, nach Ablauf einer durchschnittlichen Lebensdauer von 25 Jahren, zu Entsorgungsemissionen. Bei Schiffen setzt die Entsorgung erst im Jahr 2022, nach 25 Jahren, ein.

Für *Flugzeuge und Hubschrauber* wird folgendes Kältemittelmodell angewendet:

- Für die Ermittlung des Kältemittelbestands in Klimaanlagen mittelgroßer, mehrmotoriger Flugzeuge (Kennzeichenklasse I) und Hubschrauber (Kennzeichenklasse H) sowie in der Bordkühlung von Passagierflugzeugen der Kennzeichenklassen A, B und C wird die jeweilige Anzahl der in Deutschland zugelassenen Flugzeuge bzw. Hubschrauber herangezogen. Diese amtlichen Zahlen sind in den jährlich veröffentlichten Statistiken des Luftfahrt-Bundesamtes (Luftfahrt-Bundesamt, Versch. Jahrgänge, Bestand an Luftfahrzeugen) für alle benötigten Jahre, d.h. ab 1993, verfügbar.
- In Passagierflugzeugen der Kennzeichenklassen A, B und C werden bei Flügen von über vier Stunden durchschnittlich drei HFKW-134a-Chiller mit einer Füllmenge von jeweils 500 Gramm für die Bordkühlung eingesetzt.
- In Flugzeugen der Kennzeichenklasse I und Hubschraubern kommen laut Herstelleraussagen pro Flugzeug durchschnittlich 2 Kilogramm HFKW-134a zur Instrumentenkühlung und Klimatisierung zum Einsatz.
- Für die Berechnung des Kältemittelbestands wird die flugzeugspezifische Füllmenge mit der Stückzahl der zugelassenen klimatisierten bzw. gekühlten Flugzeuge multipliziert.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 berechnet.
- Entsorgungsemissionen treten aufgrund der langen Lebensdauer der Flugzeuge bisher nicht auf.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden EF sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Literaturauswertungen (z.B. Winfried Schwarz (2003); Siegl et al. (2002); Clodic and Barrault (2011); Clodic et al. (2012); Winfried Schwarz et al. (2012), Hafner et al. (2019)), Messungen (Pkw), Auswertungen von Werkstattdokumentationen und umfangreichen Expertenbefragungen sowie Umfragen bei Pkw-

Werkstätten und Demontagebetrieben. Zu den regulären Emissionen während des Betriebs kommen hier noch Emissionen durch Unfälle und andere äußere Einflüsse hinzu.

Die Befüllungsemissionen sind bei mobilen Klimaanlagen im Allgemeinen gering. Die Kältemittelverluste beim Befüllen werden bei Pkw auf 3 Gramm pro Anlage geschätzt, bei Nfz und Landmaschinen auf 5 Gramm pro Anlage und bei Bussen auf 50 Gramm pro Anlage. Dabei handelt es sich um Standardwerte für Schlauchverluste bei Vor-Ort-Befüllungen. Werden die Befüllungsemissionen rechnerisch auf den Neuverbrauch bezogen, so ergeben sich in Abhängigkeit von jährlich sich ändernden Erstfüllmengen Emissionsfaktoren zwischen 0,25 - 0,63 % (Pkw), 0,36 - 0,66 % (Nfz), 0,28 - 0,35 % (Landmaschinen) und 0,42 - 0,45 % (Busse). Bei Schienenfahrzeugen beträgt der Emissionsfaktor der Befüllung 0,5 % und bei Schiffen 1 %. Die 2006 IPCC Guidelines geben in Vol. 3, Tabelle 7.9 für „initial emission“ bei mobilen Klimaanlagen (Pkw, Nfz, Busse und Schienenfahrzeuge) 0,2 bis 0,5 Prozent der Erstbefüllung an. Die verwendeten Werte für die in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) beschriebenen Fahrzeuge liegen somit zum größten Teil innerhalb des vorgeschlagenen Wertebereichs. Die 2006 IPCC Guidelines geben keine Werte für Landmaschinen, Schiffe und Flugzeuge vor.

Die laufenden HFKW-Emissionen werden für Pkw auf 10 % geschätzt, für Nutzfahrzeuge und Busse auf 15 %, für Schienenfahrzeuge auf 6 %, für Landmaschinen auf 15 % (Ackerschlepper) bzw. 25 % (Mähdrescher, Feldhäcksler), für Schiffe auf 10 % (Binnenpersonenschiffe), 20 % (Seepersonenschiffe) bzw. 35 % (Seegüterschiffe) und für Flugzeuge auf 5 %. Die verwendeten $EF_{Anwendung}$ liegen damit größtenteils im Bereich des in Vol. 3, Tabelle 7.9 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) gegebenen Vorschlags von 10 bis 20 % für Klimaanlagen in Pkw, Nfz, Bussen und Schienenfahrzeugen. Für Landmaschinen, Schiffe und Flugzeuge werden keine Vorschläge unterbreitet.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren (Pkw, Nfz, Busse), 10 Jahren (Landmaschinen) bzw. 25 Jahren (Schienenfahrzeuge, Schiffe) ein. Mit Ausnahme von Schienenfahrzeugen und Schiffen liegen die verwendeten Lebensdauern innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines für Pkw, Nfz, Busse und Schienenfahrzeuge angegebenen Wertebereiches von 9 bis 16 Jahren.

Der in den Klimaanlagen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 34 % (Pkw, Nfz, Busse, Landmaschinen) bzw. 87,5 % bei Schienenfahrzeugen, da diese kürzere Wartungsintervalle aufweisen, um den Fahrgastkomfort zu gewährleisten. In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 0 - 50 % angegeben. Bis auf Schienenfahrzeuge sind die verwendeten Werte alle Default-Werte.

Wegen der seit dem Jahr 2002 in der Altfahrzeugverordnung geforderten geregelten Entsorgung und Verwertung von Altfahrzeugen entwickeln sich die Rückgewinnungsfaktoren bei Pkw und Nfz kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Sie liegen für Pkw und Nfz im Jahr 2000 bei 38 % und im Jahr 2020 bei 50 %. Der Rückgewinnungsfaktor wird bei Bussen auf 38 %, bei Landmaschinen auf 11,7 % und bei Schienenfahrzeugen auf 75,6 % (2017) bis 80 % (2020) geschätzt. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren für Pkw, Nfz und Busse innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 50 %. Der länderspezifische Wert für Schienenfahrzeuge liegt deutlich über dem Default-Wert, da bei der Entsorgung von Schienenfahrzeugen deutlich mehr Sorgfalt aufgewendet wird. Für Landmaschinen machen die 2006 IPCC Guidelines keine Vorschläge.

Aktivitätsdaten

Zugelassene Fahrzeugbestände von Pkw, Nfz und Bussen sowie Neuzulassungen von landwirtschaftlichen Zugmaschinen werden vom Kraftfahrtbundesamt gemeldet. Die Anzahl der zugelassenen Flugzeuge stammt vom Luftfahrt-Bundesamt. Produktionszahlen stammen vom Verband der Automobilindustrie (VDA), vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), sind anderen Statistiken entnommen oder basieren auf Herstellerbefragungen.

Bei den Pkw-Klimaanlagen werden Füllmengen und Jahrgangs-Klimaanlagenquoten durch Direktbefragung von Automobilunternehmen ermittelt, bei den anderen Fahrzeugtypen durch eine Kombination aus amtlichen Statistiken, gezielter Herstellerbefragung und Expertenschätzung.

4.7.1.2.6 Stationäre Klimaanlagen (2.F.1.f)

Zu den stationären Klimaanlagen zählen Raumklimageräte, Kaltwassersätze zur Gebäudeklimatisierung und industriellen Flüssigkeitskühlung, sowie Wärmepumpenanlagen, Wärmepumpen-Wäschetrockner und gewerbliche Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion.

4.7.1.2.6.1 Raumklimageräte

Raumklimageräte dienen der Temperierung der Innenraumluft einzelner Räume, ganzer Stockwerke oder kleinerer bis mittelgroßer Gebäude und liegen von der Leistung her unter der von Großklimaanlagen. Als Kältemittel kommen seit 1998 das HFKW-Gemisch R407C, ab 2003 das Gemisch R410A und ab 2014 der HFKW-32 zum Einsatz. Als halogenfreie Alternative wird in mobilen Raumklimageräten ab 1997 auch R290 verwendet.

Eine inländische Produktion von Raumklimageräten gibt es nicht. Raumklimageräte werden in der Regel befüllt importiert. Bei der Installation von fabrikmäßig hergestellten Single-Split-, Multi-Split- und VRF-Multi-Split-Geräten erfolgt jedoch eine Auffüllung der vor Ort verlegten Kältemittelleitungen. Dies ist bei mobilen, steckerfertigen Raumklimageräten nicht erforderlich.

Folgendes Kältemittelmodell wird für Raumklimageräte angewendet:

- Die *Raumklimageräte* werden in vier Kategorien eingeteilt, deren jeweilige Stückzahl von Neuanlagen jedes Jahr durch Anbieterbefragung und die in internationalen Publikationen veröffentlichten Zahlen ermittelt wird: kleine mobile Geräte, Single-Split-Geräte, Multi-Split-Geräte mit konstantem Volumenstrom des Kältemittels und VRF-Multi-Split-Systeme mit variablem Volumenstrom.
- Für jede Kategorie werden Füllmenge und prozentuale Anteile der verwendeten Kältemitteltypen entsprechend der jährlich verkauften Neuanlagen festgelegt. Aus der Absatzmenge und den o.g. Annahmen ergibt sich der jährliche Neuverbrauch, der identisch ist mit dem Neuzugang an Kältemitteln. Der Jahresendbestand wird durch Aggregation der jährlichen HFKW-Neuzugänge und Subtraktion der Abgänge durch Entsorgung ermittelt.
- Herstellungsemissionen treten nicht auf. Befüllungsverluste treten aber bei der Installation der ortsfesten Single-Split-Geräte, Multi-Split-Geräte und VRF-Multisplit-Systeme auf. Auf der Grundlage von Expertenbefragungen kommt es hierbei zu Installationsverlusten von 5 g pro Gerät (10 % der Auffüllmenge) bei Single-Split-Geräten, 20 g pro Gerät (1 % der Auffüllmenge) bei Multi-Split-Geräten und 45 g pro Gerät (1 % der Auffüllmenge) bei VRF-Multisplit-Systemen.
- Bestandsemissionen werden nach Gleichung 2 berechnet.
- Entsorgungsemissionen traten erstmals im Jahr 2008 nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 Jahren für mobile Geräte und Single-Split-Geräte bzw. 13 Jahren für Multi-Split- und VRF-Multi-Split-Geräte auf und werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturauswertungen und sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Der länderspezifische $EF_{Herstellung}$ = 1 % für Multi-Split- und VRF-Multi-Split-Geräte liegt innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 0,2 bis 1 %. Bei Single-Split-Geräten beträgt der Emissionsfaktor 10 %, was einem Verlust von 5 g Kältemittel bei 50 g Auffüllung entspricht und über den in den Guidelines angegebenen Werten liegt.

Die Emissionsfaktoren der Anwendung sinken für alle Geräte innerhalb der Zeitreihe ab dem ersten Jahr der Anwendung kontinuierlich ab (siehe Tabelle 203). Sie liegen für mobile Raumklimageräte zwischen 3,4 % (1999) und 2,5 % (ab 2010), für Single-Split-Geräte zwischen 6,9 % (1998) und 5 % (ab 2010), für Multi-Split-Geräte zwischen 7,9 % (1998) und 4,2 % (2020) und für VRF-Multi-Split-Geräte zwischen 8,1 % (2003) und 4,9 % (2020). Die Anwendungs-Emissionsfaktoren liegen somit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 1 bis 10 %.

Die geschätzte Lebensdauer liegt mit 10 Jahren (mobile Raumklimageräte, Single-Split-Geräte) bzw. 13 Jahren (Multi-Split-Geräte, VRF-Multi-Split-Geräte) innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 10 bis 20 Jahren.

Der Restfüllstand bei Entsorgung beträgt 75 % bei mobilen Raumklimageräten und 87,5 % bei allen anderen Typen. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) schlagen in Vol.3, Tabelle 7.9 Werte von 0 bis 80 % vor. Der für mobile Raumklimageräte verwendete Restfüllstand ist somit ein Default-Wert, die für die anderen Typen verwendeten Werte liegen oberhalb des angegebenen Bereichs.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Bei mobilen Raumklimageräten beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2009 24,2 % und im Jahr 2020 40 %, bei Single-Split-Geräten beträgt er im Jahr 2008 37,9 % und im Jahr 2020 60 %, bei Multi-Split-Geräten liegt er im Jahr 2011 bei 62 % und im Jahr 2020 bei 80 %. Bei VRF-Multi-Split-Geräten liegt er im Jahr 2016 bei 72 % und im Jahr 2020 bei 80 %. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 80 %.

Aktivitätsdaten

Die in Deutschland verkauften Stückzahlen der verschiedenen Gerätetypen sind über Fachpublikationen (JARN, Versch. Jahrgänge) und durch Anbieterbefragung jährlich verfügbar.

4.7.1.2.6.2 Kaltwassersätze (Chiller)

Kaltwassersätze zur Gebäudeklimatisierung und industriellen Flüssigkeitskühlung werden in drei Kategorien unterteilt: Chiller mit einer Kälteleistung unter 100 kW, Chiller mit einer Kälteleistung über 100 kW und Turboverdichteranlagen (Kälteleistung über 1500 kW). Die in Leistungsklassen eingeteilten Chiller verwenden Kolben-, Scroll- oder Schraubenverdichter.

In Turboverdichteranlagen kommt seit 1993 der HFKW-134a zum Einsatz und seit 2017 auch der nicht berichtspflichtige HFCKW-1233zd. HFKW-134a wurde auch für die Umrüstungen von FCKW-12-Turboverdichteranlagen in den Jahren 1995 bis 1999 genutzt. Die wichtigsten in Chillern eingesetzten Kältemittel sind HFKW-134a (Einsatz ab 1993), ab 1998 R407C und seit 2004 auch R410A. Seit 2013 wird auch der nicht berichtspflichtige HFKW-1234ze verwendet und seit 2017 das Kältemittelgemisch R513A.

Es wird folgendes Kältemittelmodell für *Kaltwassersätze* angewendet:

- Kaltwassersätze werden in drei Kategorien eingeteilt, deren Anzahl an Neuanlagen jedes Jahr durch Expertenbefragung und internationale Absatzstatistiken ermittelt wird: Chiller ‹100 kW Kälteleistung, Chiller ›100 kW Kälteleistung und Turboverdichteranlagen im Leistungsbereich über 1.500 kW.
- Für jede Kategorie werden eine durchschnittliche Füllmenge und die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemitteltypen ermittelt. Die Füllmengen liegen bei 10 kg für Chiller ‹100 kW, 95 kg (HFKW-134a, R407C und R410A), 150 kg (R513A) bzw. 630 kg (HFKW-1234ze) für Chiller ›100 kW und 630 kg für Turboverdichteranlagen.
- Aus der Anzahl der Neuanlagen und den o.g. Annahmen ergibt sich der jährliche HFKW-Zugang zum inländischen Bestand. Hier muss auch noch der Verbrauch für den FCKW-Ersatz in Altanlagen berücksichtigt werden.
- Durch Kenntnis des Vorjahresbestands, des Neuzugangs und des Abgangs kann der Jahresendbestand an Kältemitteln errechnet werden.
- Durch Kenntnis des Vorjahresbestands, des Neuzugangs und des Abgangs kann der Jahresendbestand an Kältemitteln errechnet werden.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 errechnet.
- Entsorgungsemissionen traten erstmals im Jahr 2003 auf (FCKW-Umrüstanlagen) und werden mit Gleichung 4 berechnet.
- Emissionen der nicht berichtspflichtigen HFKW-1234ze und HFCKW-1233zd aus der Verwendung als Einzelstoff sowie des HFKW-1234yf aus dem Einsatz des Kältemittelgemisches R513A werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen. Sie sind in Tabelle 203 aufgeführt.

Der Befüllungsverlust liegt mit 0,5 % innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b): Vol.3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 0,2 bis 1 %. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass eine große Menge der Kaltwassersätze vorgefüllt importiert wird, wird nicht der eigentliche $EF_{Herstellung}$ = 1 % verwendet.

Die laufenden HFKW-Emissionen werden für alle Kälteleistungsklassen bzw. Verdichterbauarten, Altersstufen und Kältemittel-Typen bis zum Jahr 2000 auf 6 % geschätzt. Danach nimmt der $EF_{Anwendung}$ kontinuierlich auf 2,8 % (2020) ab. Alle verwendeten Werte liegen damit im unteren Bereich des Vorschlags von 2 bis 15 Prozent der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9).

Die Lebensdauer von Kaltwassersätzen wird in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 mit 15 bis 30 Jahren angegeben. Die verwendeten Werte liegen in diesem Rahmen: 15 Jahre für Chiller kleiner und größer 100 kW Kälteleistung und 25 Jahre für Turboverdichteranlagen.

Der Restfüllstand bei Entsorgung beträgt 90 % für alle Typen von Kaltwassersätzen. Die 2006 IPCC Guidelines schlagen in Vol. 3, Tabelle 7.9 Werte von 80 bis 100 % vor. Die verwendeten Restfüllstände sind somit Default-Werte.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich bedingt durch technischen Fortschritt und zunehmende Sorgsamkeit im Umgang mit Kältemitteln kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Bei Chillern kleiner und größer 100 kW Kälteleistung beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2003 65,8 %, im Jahr 2020 80 %, bei Turboverdichteranlagen beträgt er im Jahr 2003 69,5 % und im Jahr 2020 80 %. Die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren liegen alle innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 0 bis 95 %.

Aktivitätsdaten

Die Anzahl an Neuanlagen wird jährlich durch Expertenbefragung von Herstellern und internationale Absatzstatistiken (z.B. BSRIA Limited (Versch. Jahrgänge)) ermittelt.

Die durchschnittlichen Füllmengen und die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemitteltypen wurden in Expertentreffen mit Industrievertretern ermittelt.

4.7.1.2.6.3 Wärmepumpenanlagen

Mit einer Wärmepumpenanlage wird mittels eines Kältemittelkreislaufs aus der Umgebungswärme in Luft, Erdreich oder Grundwasser Nutzwärme zur Heizung oder Klimatisierung von Innenräumen sowie für die Bereitstellung von Warmwasser erzeugt. Geräte, die die Umweltwärme der Außenwärme zur direkten Innenlufterwärmung nutzen, fallen unter die Kategorie der Raumklimageräte.

Als Kältemittel kommen in Wärmepumpen seit 1995 der HFKW-134a und die HFKW-Gemische R404A und R407C zum Einsatz, seit 2001 auch R410A und seit 2019 der HFKW-32. Als halogenfreie Alternativen werden in Heizungswärmepumpen ab 1995 auch Propan (R290) und in Brauchwarmwasser-Wärmepumpen ab 2018 auch CO_2 (R744) verwendet.

Methodisch ist das Kältemittel-Modell für *Wärmepumpen* wie das für Raumklimageräte aufgebaut:

- Es wird zwischen drei Kategorien von Heizungswärmepumpen unterschieden: Luft - Wasser, Erdreich (Grundwasser) - Wasser, Erdreich (Sole) - Wasser. Daneben gibt es als vierte Kategorie Brauchwarmwasser-Wärmepumpen.
- Ausgangs- und Bezugspunkt für die Berechnungen sind die jährlichen Stückzahlen neu installierter Wärmepumpen aller vier Kategorien, die jährlich vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP) veröffentlicht werden. Die Stückzahlen der neu installierten Brauchwarmwasser-Wärmepumpen werden auch als Produktionszahlen genutzt. Die Produktionszahlen von Heizungswärmepumpen sind um den Faktor 2 größer als die Installationszahlen. Den verschiedenen Wärmepumpentypen werden basierend auf den Werten des Neuzugangs mittlere HFKW-Füllmengen und prozentuale Anteile der HFKW-Typen zugeordnet. Das Modell enthält außerdem die Lebensdauern und Emissionsraten.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.
- Wärmepumpen mit HFKW werden seit 1995 hergestellt und vertrieben. Bei einer Lebensdauer von durchschnittlich 15 Jahren treten Entsorgungsemissionen ab dem Jahr 2010 auf. Sie werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden Emissionsfaktoren (EF) sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen.

Der Befüllverlust beträgt 0,5 %. Damit ist der $EF_{Herstellung}$ innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) vorgeschlagenen Wertebereichs von 0,2 bis 1 %.

Die jährlichen HFKW-Emissionen werden für Heizungswärmepumpen auf 2,5 % geschätzt, für Warmwasser-Wärmepumpen auf 2 %. Die verwendeten $EF_{Anwendung}$ liegen damit im Bereich des Vorschlags der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) von 1 bis 10 %.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ein. Die verwendete Lebensdauer liegt damit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 10 bis 20 Jahren.

Der in den Wärmepumpen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 75 %. In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 0 - 80 % angegeben. Der verwendete Wert ist somit ein Default-Wert.

Der Rückgewinnungsfaktor für Wärmepumpen entwickelt sich, bedingt durch einen zunehmend sorgsameren Umgang mit Kältemitteln, kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Der Rückgewinnungsfaktor beträgt im Jahr 2010 50 %, im Jahr 2020 65 %. Damit liegen alle verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 80 %.

Aktivitätsdaten

Der Bundesverband Wärmepumpe (BWP) veröffentlicht jährlich die Zahl der inländischen Neuinstallationen von Wärmepumpen, die die Grundlage für die Emissionsberechnung bilden.

Das Verhältnis von Produktions- und Installationszahlen basiert auf Aussagen von Wärmepumpenproduzenten.

4.7.1.2.6.4 Wärmepumpen-Wäschetrockner

Wärmepumpen-Wäschetrockner mit HFKW-Kältemitteln werden seit dem Jahr 2008 auf dem deutschen Markt vertrieben. Sie verwenden den HFKW-134a, zwischen 2008 und 2018 nutzten sie auch das Kältemittelgemisch R407C als Kältemittel. Die Füllmenge in den hermetischen Geräten liegt zwischen 220 g und 485 g. Als halogenfreie Alternative kommt in Wärmepumpen-Wäschetrocknern ab 2015 in stark steigendem Umfang Propan (R290) zum Einsatz.

Von 2008 bis 2012 produzierte ein inländisches Unternehmen Wärmepumpen-Wäschetrockner mit dem Kältemittel HFKW-134a. Die Produktion wurde Ende 2012 ins Ausland verlagert.

Das Kältemittelmodell für *Wärmepumpen-Wäschetrockner* ist ähnlich aufgebaut wie das Modell für Raumklimageräte:

- Die wichtigsten Ausgangswerte sind die Stückzahlen für den Inlandsabsatz und die inländische Produktion sowie die Untergliederung in die verwendeten Kältemittel, die den Werten des Inlandsabsatzes folgen. Der Gerätebestand wird aus der Summe der Neuzugänge errechnet.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.
- Wärmepumpen-Wäschetrockner mit HFKW werden seit 2008 hergestellt und vertrieben. Bei einer Lebensdauer von durchschnittlich 15 Jahren treten Entsorgungsemissionen erst ab dem Jahr 2023 auf.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen. Sie sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Der Befüllverlust beträgt 0,5 %. Der $EF_{Herstellung}$ ist länderspezifisch, da die 2006 IPCC Guidelines diese Geräte nicht erfassen.

Die laufenden HFKW-Emissionen dieser hermetischen Geräte werden auf 0,3 % geschätzt. Auch hierfür gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Aktivitätsdaten

Wärmepumpen-Wäschetrockner sind ein relativ neues Produkt, über das erst wenige statistische Daten und technische Informationen vorliegen. Das Kältemittelmodell basiert daher fast ausschließlich auf Aussagen von Herstellerunternehmen (Winfried Schwarz et al., 2012).

4.7.1.2.6.5 Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion

Um in Großküchen die Abwärme von gewerblichen Geschirrspülmaschinen zu nutzen, sind seit dem Jahr 2005 einzelne Modelle mit Wärmepumpenfunktion auf dem deutschen Markt erhältlich. Als Kältemittel kommt ab 2005 der HFKW-134a zum Einsatz, ab 2020 auch das Kältemittelgemisch R513A. Die durchschnittliche Füllmenge liegt bei 2,5 kg.

In Deutschland gibt es zwei Hersteller von gewerblichen Geschirrspülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion. Die Produktion der Geschirrspülmaschinen startete 2005 und deckt fast den kompletten nationalen Markt ab. Die Anlagen werden in Deutschland gebaut, die darin verbauten Wärmepumpen aber vorbefüllt von externen Zulieferern aus dem Ausland bezogen. Bei der Montage vor Ort finden zusätzlich Nachfüllungen von ca. 200 g pro Anlage statt.

Der nationale Markt für gewerbliche Spülmaschinen ist recht stabil und seit einigen Jahren auf relativ konstantem Niveau.

Das Kältemittelmodell für *Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion* ist ähnlich aufgebaut wie das Modell für Raumklimageräte (Warncke et al., 2018):

- Die wichtigsten Ausgangswerte sind die Stückzahlen für den Inlandsabsatz und die inländische Produktion. Der Gerätebestand wird aus der Summe der Neuzugänge abzüglich der Abgänge durch Entsorgung errechnet.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.
- Gewerbliche Geschirrspülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion werden seit 2005 hergestellt und vertrieben. Bei einer Lebensdauer von durchschnittlich 12 Jahren treten Entsorgungsemissionen ab dem Jahr 2017 auf. Sie werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen. Sie sind in Tabelle 203 wiedergegeben.

Der Befüllverlust beträgt 1 %. Der $EF_{Herstellung}$ ist länderspezifisch, da die 2006 IPCC Guidelines diese Geräte nicht erfassen.

Die laufenden HFKW-Emissionen von Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion werden auf 0,3 % geschätzt. Auch hierfür gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 12 Jahren ein. Die 2006 IPCC Guidelines machen hierzu keine Angaben.

Der in den Spülmaschinen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 95,5 %. In den 2006 IPCC Guidelines ((IPCC, 2006b) sind keine Werte angegeben. Der verwendete Wert ist somit ebenfalls länderspezifisch .

Der Rückgewinnungsfaktor steigt wie bei Wärmepumpen und Raumklimageräten kontinuierlich an und beträgt im Jahr 2017 82 %, im Jahr 2020 85 %. Ein Vergleich mit den 2006 IPCC Guidelines ((IPCC, 2006b) ist nicht möglich.

Aktivitätsdaten

Über gewerbliche Geschirrspülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion gibt es nur wenige statistische Daten und technische Informationen. Das Kältemittelmodell basiert daher fast ausschließlich auf Aussagen von Herstellerunternehmen (Warncke et al., 2018).

4.7.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.1 alle)

Die Emissionsfaktoren sind mit größeren Unsicherheiten behaftet. Die in der Literatur (s. Kältemittelmodelle) zu findende breite Streuung von Emissionsfaktoren für identische Anwendungen ist nur teilweise Folge technischer Veränderung, der Anlagendichtheit oder Ausdruck nationaler Unterschiede. In großem Maße resultiert sie aus realer Unsicherheit, da es noch zu wenig solide empirische Erforschungen ihrer Größen gibt Schwarz (2007).

Aufgrund der genannten Unsicherheit bei den Emissionsfaktoren, aber auch aufgrund der Vielzahl von Einzelanwendungen (Anlagen) wird für die Emissionsdaten noch Präzisierungsbedarf gesehen. Zur Verbesserung der Datenqualität wurden die Daten mit den Verkaufsdaten (stoffbezogen) der Hersteller abgeglichen.

Bis zum Berichtsjahr 2001 hatte Deutschland nur aggregierte Emissionen über alle Untergruppen gemeldet. Im Rahmen der Emissionserhebung für die Jahre 1999 bis 2001 und der Emissionserhebung für das Berichtsjahr 2002 wurden auch die Emissionen der Berichtsjahre 1995 bis 1998 überprüft und aufgrund neuer Erkenntnisse zu Einsatzmengen und Emissionsfaktoren aktualisiert. Alle Daten unterliegen weiterhin einer kontinuierlichen Verbesserung. Eine umfassende Überprüfung der Aktualität der verwendeten Kältemittelmodelle, Ausgangsdaten und Emissionsfaktoren erfolgte 2012. Die Aufnahme neuer Anwendungsbereiche von HFKW-Kältemitteln erfolgt kontinuierlich, zuletzt 2018 mit der Aufnahme von Speiseeismaschinen und gewerblichen Spülmaschinen in das nationale Inventar.

Die Datenqualität der Emissionen aus mobilen Klimaanlagen ist gut. Denn es können die Jahresverbräuche von HFKW über die zugelassenen Fahrzeugbestände, Neuzulassungen, die Produktion und den Im- und Export von Pkw, die den Großteil dieses Sektors ausmachen, sowie der jährlichen Ermittlung der modellspezifischen Ausstattungsquoten mit Klimaanlagen und der zugehörigen Füllmengen statistisch recht genau ermittelt werden. Lediglich bei den Nutzfahrzeugen sind die Angaben mit größeren Unsicherheiten behaftet.

Auf der Grundlage der Ergebnisse eines Gutachtens im Auftrag des Umweltbundesamtes (Winfried Schwarz et al., 2012) wurden die Emissionsfaktoren aktualisiert und weisen jetzt in vielen Anwendungsbereichen eine kontinuierliche Entwicklung innerhalb der Zeitreihe auf. Insgesamt werden die EF als genau bewertet. In dem Gutachten wurden ebenfalls Restfüllstände und Rückgewinnungsfaktoren für alle Anwendungsbereiche von Kälte- und Klimaanlagen bestimmt, um den Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines gerecht zu werden.

Eine Quantifizierung der Unsicherheiten für die gesamte Unterquellgruppe Kälte- und Klimaanlagen ist für die Berichterstattung 2015 erfolgt.

4.7.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.1 alle)

Bei steckerfertigen Geräten und Verflüssigungssätzen der Gewerbekälte (Subquellgruppe 2.F.1.a) wurden die Stückzahlen der Einzelhandelsgeschäfte mit Nahrungsmitteln basierend auf Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Serie 45341-0001) für das Vorjahr rekalkuliert. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 im Jahr 2019.

Bei Zentralanlagen von kleinen Supermärkten (Subquellgruppe 2.F.1.a) wurde der Endbestand von HFKW-134a und R404A für das Jahr 2019 aktualisiert. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-143a im Jahr 2019.

Bei Zentralanlagen von großen Supermärkten (Subquellgruppe 2.F.1.a) mussten der Verbrauch zur Befüllung mit R449A für die Jahre 2017 bis 2019 und die Endbestände von CO_2, HFKW-134a und R448A im Jahr 2019 sowie für R404A und R449A für die Jahre 2017 bis 2019 aktualisiert werden. Außerdem die nominalen Entsorgungsmengen von R404A-Umrüstanlagen für die Jahre 2017 bis 2019. Dadurch änderten sich die Emissionen der Produktion von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-32, die Emissionen der Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 sowie die Emissionen der Entsorgung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-143a in den Jahren 2017 bis 2019.

Bei Tieftemperaturanwendungen der Gewerbekälte und HFCKW-22-Umrüstanlagen (Subquellgruppe 2.F.1.a) werden für die Erstfüllung von Neuanlagen und die Erstfüllung der Umrüstanlagen mit R413A, R508A, R508B, Isceon 89 und HFKW-23 die vom Statistischen Bundesamt erhobenen Daten nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) verwendet. Da die UStatG-Zahlen für HFKW erst im Dezember des Folgejahres vorliegen, erfolgt jährlich eine Rekalkulation der Vorjahreszahlen. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von FKW-116, FKW-218, HFKW-125 und HFKW-23 für das Vorjahr.

Bei Speiseeismaschinen (Subquellgruppe 2.F.1.b) mussten die Kältemittelanteile der Geräte mit den Kältemitteln HFKW-134a und R404A in den Jahren 2015 bis 2019 zugunsten des natürlichen Kältemittels Propan (R290) nach unten korrigiert werden. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-143a in den Jahren 2015 bis 2019.

In der Industriekälte (Subquellgruppe 2.F.1.c) werden für die Erstfüllung von Neuanlagen und die Erstfüllung der Umrüstanlagen mit HFKW-23 und HFKW-227ea die vom Statistischen Bundesamt erhobenen Daten nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) verwendet. Eine Rekalkulation ist jährlich für den Neuzugang im Vorjahr notwendig, da die nach UStatG erhobenen Daten erst im Dezember des Folgejahres vorliegen. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-227ea und HFKW-23 für das Vorjahr. Basierend auf neuen Statistiken wurden ebenfalls die Produktmengen für Fruchsaft- und Bierproduktion für das Jahr 2019 aktualisiert. Außerdem war eine Rekalkulation der nominalen Entsorgungsmengen von Umrüstanlagen mit R404A und R407C in den Jahren 2006 bis 2019 und mit R422D in den Jahren 2018 bis 2019 wegen einer Modellaktualisierung erforderlich. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 im Jahr 2019 sowie der Emissionen der Entsorgung in den Jahren 2006 bis 2019.

Auf Basis neuer Forschungsergebnisse wurde das Kältemittelmodell von Kühlcontainern (Subquellgruppe 2.F.1.d) hinsichtlich der Verwendung von Kältemitteln angepasst. Dadurch mussten die Kältemittelanteile von HFKW-134a in den Jahren 2015 bis 2019 und von R404A in den Jahren 2015 bis 2018 bei neuen Kühlcontainern geändert werden. Neu in das Modell integriert wurden die Kältemittelblends R452A und R513A, die ab 2018 zum Einsatz kommen.

Auf Basis von Informationen führender Hersteller von Kühlcontainern wurden ab dem Jahr 2012 ebenfalls die durchschnittlichen Füllmengen für HFKW-134a von 6 kg auf 5 kg und für R404A von 4 kg auf 5 kg aktualisiert. Auch der Emissionsfaktor der Anwendung, der bisher als konstanter Wert von 10 % angenommen wurde, sinkt jetzt ab 2012 kontinuierlich nach unten auf 5,6 % im Jahr 2019. Die Modellanpassungen führten zu Änderungen der Emissionen der Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 2012 bis 2019.

Bei Kühlfahrzeugen (Subquellgruppe 2.F.1.d) wurden die durchschnittlichen Füllmengen der Kältemittel HFKW-134a, R404A, R410A und R452A in den Jahren 2018 und 2019 aktualisiert. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 2018 und 2019.

Bei Pkw und Nutzfahrzeugen (Subquellgruppe 2.F.1.e) wird die Anzahl der entsorgten Fahrzeuge (Pkw und N1 Nutzfahrzeuge) jährlich der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes entnommen. Da die Daten erst zwei Jahre später veröffentlicht werden, ist eine jährliche Rekalkulation der Vorjahreszahl erforderlich. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Entsorgung von HFKW-134a für das Vorjahr.

Bei Pkw (Subquellgruppe 2.F.1.e) wurden die Klimaquoten und durchschnittlichen Füllmengen der im Inland produzierten und neu zugelassenen Fahrzeuge für die Jahre 2011 bis 2019 aktualisiert. Dadurch kam es zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-134a in den Jahren 2011 bis 2019.

Bei Nutzfahrzeugen (Subquellgruppe 2.F.1.e) wurde die Anzahl der inländisch produzierten Fahrzeuge, die mit Klimaanlage ausgestattet sind, für das Jahr 2019 aktualisiert. Dies führte zu höheren Befüllungsemissionen von HFKW-134a im Jahr 2019.

Bei Bussen (Subquellgruppe 2.F.1.e) wurden die Klimaquote und die durchschnittliche Füllmenge des Neuzulassungsjahrgangs 2019 basierend auf neuen Herstellerdaten nach oben korrigiert. Ebenfalls aktualisiert wurden die Anzahl und die durchschnittliche Füllmenge der 2019 in Deutschland produzierten Busse. Dies führte zu geänderten Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-134a im Jahr 2019.

Bei Schienenfahrzeugen (Subquellgruppe 2.F.1.e) mussten die Verbrauchsmengen zur Produktion für die Jahre 2014, 2018 und 2019 geändert werden. Dadurch änderten sich auch die Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-134a ab dem Jahr 2014.

Bei Schiffen (Subquellgruppe 2.F.1.e) wurde die Anzahl der neuen Binnenkabinenschiffe basierend auf Statistiken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes für das Jahr 2019 aktualisiert. Dadurch sanken die Bestandsemissionen von HFKW-134a im Jahr 2019.

Bei Wärmepumpen (Subquellgruppe 2.F.1.f) wurde das Kältemittelmodell hinsichtlich der Verwendung von Kältemitteln angepasst: Ab 2019 wird das Kältemittel HFKW-32 in Heizungswärmepumpen vom Typ Erdreich (Sole) - Wasser eingesetzt. Der Anteil von R407C sinkt dadurch im Jahr 2019 von 27 auf 25%. Dies führte zur Änderung der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-32 im Jahr 2019.

Bei Wärmepumpenwäschetrocknern (Subquellgruppe 2.F.1.f) wurde der Anteil der verkauften Trockner mit dem Kältemittel R407C für das Jahr 2019 aktualisiert. Dadurch änderten sich die Bestandsemissionen von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-32 im Jahr 2019.

Die Änderungen der Emissionen von FKW-116, FKW-218, HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a, HFKW-227ea, HFKW-23 und HFKW-32 in der Unterkategorie Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1) in den Jahren 2006 bis 2019 sind in Tabelle 205 aufgeführt..

Tabelle 205: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von FKW-116, FKW-218, HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a, HFKW-227ea, HFKW-23 und HFKW-32 in der Unterquellgruppe Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1) in den ahren 2006 bis 2019

	Einheit	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
EM HFKW-125															
Submission 2022	t CO_2eq	1.526.648	1.598.515	1.670.450	1.742.221	1.897.420	2.045.657	2.178.785	2.180.119	2.211.906	2.223.271	2.258.185	2.272.571	2.252.195	2.146.963
Submission 2021	t CO_2eq	1.526.853	1.598.709	1.670.632	1.742.358	1.897.534	2.045.768	2.179.268	2.181.262	2.213.820	2.226.281	2.262.377	2.305.949	2.316.057	2.174.359
Differenz	t CO_2eq	-205	-193	-182	-137	-114	-112	-483	-1.143	-1.914	-3.009	-4.192	-33.378	-63.862	-27.396
EM HFKW-134a															
Submission 2022	t CO_2eq	4.095.900	4.040.656	4.231.513	4.655.546	4.656.934	4.845.135	4.995.464	5.088.559	5.170.081	5.240.383	5.188.984	4.999.080	4.822.681	4.564.614
Submission 2021	t CO_2eq	4.095.928	4.040.683	4.231.539	4.655.565	4.656.950	4.845.958	5.002.948	5.102.467	5.190.667	5.266.870	5.223.265	5.051.356	4.898.958	4.670.902
Differenz	t CO_2eq	-28	-27	-25	-19	-16	-823	-7.485	-13.908	-20.586	-26.487	-34.281	-52.277	-76.277	-106.287
EM HFKW-143a															
Submission 2022	t CO_2eq	1.609.568	1.729.006	1.839.567	1.937.960	2.022.436	2.096.833	2.137.066	2.099.105	2.095.956	2.032.647	1.937.130	1.827.008	1.637.116	1.450.985
Submission 2021	t CO_2eq	1.609.839	1.729.262	1.839.808	1.938.140	2.022.586	2.096.980	2.137.774	2.100.810	2.098.825	2.037.170	1.943.439	1.862.756	1.686.656	1.418.392
Differenz	t CO_2eq	-271	-256	-241	-180	-150	-147	-708	-1.706	-2.869	-4.523	-6.309	-35.748	-49.540	32.593
EM HFKW-32															
Submission 2022	t CO_2eq	39.106	47.355	55.991	63.536	72.420	82.658	94.401	106.018	118.388	132.526	148.062	164.621	179.929	193.290
Submission 2021	t CO_2eq	39.111	47.359	55.995	63.539	72.422	82.660	94.404	106.020	118.391	132.528	148.064	166.460	185.561	202.069
Differenz	t CO_2eq	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1.839	-5.633	-8.779
EM HFKW-227ea															
Submission 2022	t CO_2eq														3.108
Submission 2021	t CO_2eq														3.140
Differenz	t CO_2eq														-32
EM HFKW-23															
Submission 2022	t CO_2eq														65.654
Submission 2021	t CO_2eq														67.503
Differenz	t CO_2eq														-1.848
EM FKW-116															
Submission 2022	t CO_2eq														2.428
Submission 2021	t CO_2eq														2.351
Differenz	t CO_2eq														76
EM FKW-218															
Submission 2022	t CO_2eq														1.874
Submission 2021	t CO_2eq														1.829
Differenz	t CO_2eq														45

4.7.1.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.1 alle)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.7.2 Schaumherstellung (2.F.2)

Auch bei der Schaumherstellung werden seit 1992 teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) als Ersatz für die Ozonschicht schädigenden und klimaschädlichen FCKW und HFCKW als Treibmittel eingesetzt.

Dabei kann zwischen offenzelligen und geschlossenzelligen Schaumprodukten unterschieden werden. Bei offenzelligen Schaumprodukten emittiert das Treibmittel nur während des Produktionsprozesses bzw. kurz danach. Zu den offenzelligen Schaumprodukten, die in Deutschland produziert und verwendet werden, zählen Polyurethan-Integralschaum, Polyurethan-Montageschaum und mit HFKW-152a-geschäumter extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS). Bei geschlossenzelligen Schaumprodukten treten während der gesamten Lebensdauer Emissionen auf: bei der Produktion, bei der Anwendung und bei der Entsorgung. Hierzu zählen Polyurethan-Hartschaum und extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS), der mit HFKW-134a oder HFKW-1234ze geschäumt wurde. Beide geschlossenzellige Schaumprodukte werden in Deutschland produziert und verwendet.

4.7.2.1 Geschlossenzellige Polyurethan-Hartschaumprodukte (2.F.2 PU hard foam)

4.7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU hard foam)

Geschlossenzellige Polyurethan (PU)-Hartschaumprodukte kommen in vielen verschiedenen Anwendungen vor, z.B. in Haushaltsgeräten, Kühlfahrzeugen, flexibel beschichteten Dämmplatten oder starr beschichteten Sandwichelementen. Neben dem HFKW-134a, der von 1998 bis 2003 als Treibmittel zum Einsatz kam, werden seit 2002 HFKW-365mfc (mit einem geringen Zusatz an HFKW-227ea) und seit 2004 HFKW-245fa eingesetzt. Die Verwendung von HFKW geht zugunsten von Kohlenwasserstoffen wie Pentan, und in geringen Mengen auch CO_2, zurück.

Die Zeitreihe beginnt erst 1998 und zeigt bis 2003 einen geringen Anstieg der Emissionen. 2004 ist ein größerer Anstieg zu verzeichnen. Dies steht in Einklang mit der historischen Entwicklung des HFKW-Einsatzes in dieser Anwendung, der in Folge des langen HFCKW-Einsatzes erst langsam beginnt. Von 2005 bis 2009 sinken die Emissionen von PU-Hartschaumprodukten wieder ab. Nach einem leichten Anstieg im Jahr 2010 sind die Emissionen seitdem auf relativ konstantem Niveau.

4.7.2.1.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU hard foam)

Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der HFKW-Menge, die spätestens innerhalb eines Jahres nach Fertigungszeitpunkt emittiert ist (Erstjahresverlust), mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.

Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von bis zu 50 Jahren (Sandwichelemente) setzt die Entsorgung der PU-Hartschaumprodukte erst in einigen Jahren ein.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 204 entnommen werden.

Der Emissionsfaktor der Produktion mit HFKW-134a beträgt 10 % und entspricht dem in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b) Vol. 3, Tabelle 7.6) vorgeschlagenen Standardwert für „Polyurethane continuous panels".

Die Emissionsfaktoren für alle anderen HFKW wurden mit nationalen Experten abgestimmt und zum Teil angepasst. So wurde der Emissionsfaktor für die Herstellung von PU-Hartschaum unter Verwendung von HFKW-365mfc/HFKW-227ea ab 2004 von 10 % auf 15 % erhöht, da dieses HFKW-Gemisch verstärkt in offenen Anwendungen vor Ort, vor allem in Spritzschaum, eingesetzt wird. Der Emissionsfaktor der Produktion mit HFKW-245fa beträgt ebenfalls 15 %. Diese Werte liegen innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.7) vorgeschlagenen Standardwerte für „first year loss" der verschiedenen PU-Hartschaum-Anwendungen.

Die jährlichen HFKW-Emissionen aus dem „stock" werden für PU-Hartschaum, der mit HFKW-134a geschäumt wurde, auf 0,5 % geschätzt. Dies entspricht dem Default-Wert der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.6) für „Polyurethane continuous panels". Die mit HFKW-365mfc/HFKW-227ea und HFKW-245fa geschäumten Produkte emittieren jährlich 1 % und liegen damit innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.7) vorgegebenen Default-Werten für verschiedene PU-Hartschaum-Anwendungen. Der verwendete Emissionsfaktor aus dem Bestand für HFKW-365mfc/HFKW-227ea stammt aus einer Abschätzung aus den Versuchsprodukten.

Aktivitätsdaten

Die Inlands-Neuverbräuche für jedes Treibmittel und jede Produktgruppe basieren auf den in Deutschland produzierten Mengen an Schaumprodukten. Die Bestände basieren auf den in Deutschland eingesetzten Mengen an Schaumprodukten (Verkauf in Deutschland) seit Einführung der HFKW. Abgänge, die den Bestand mindern, spielen bei einer Lebensdauer von bis zu 50 Jahren bis auf weiteres noch keine Rolle.

Inlands-Neuverbräuche und Inlands-Absatz an Schaumprodukten werden jährlich durch Herstellerbefragung, Anwenderbefragung, Befragung von Treibmittellieferanten, Verbandsinformationen (IVPU[83]) und den jährlichen Verwendungsmengen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhoben.

4.7.2.2 Geschlossenzelliger und offenzelliger XPS-Hartschaum (2.F.2 XPS)

4.7.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 XPS)

Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS) wird für Dämmstoffplatten verwendet, die eine hohe Resistenz gegen Feuchtigkeit aufweisen sollen. Verbräuche und Emissionen von HFKW zur Herstellung von XPS-Dämmplatten gibt es erst seit 2001, da vorher HFCKW oder alternativ $CO_{2/Ethanol}$ eingesetzt wurde. Als Treibmittel kommen seit 2001 sowohl HFKW-152a als auch HFKW-134a zum Einsatz, entweder allein oder als Gemisch. Ab dem Jahr 2012 wird auch der HFKW-1234ze als Treibmittel eingesetzt. In Abhängigkeit vom Treibmittel zeigen XPS-Dämmstoffplatten ein unterschiedliches Emissionsverhalten. Bei Verwendung von HFKW-152a kommt es nur während der Produktion zu HFKW-Emissionen, so dass man von offenzelligen XPS-Dämmstoffplatten sprechen kann. Werden HFKW-134a oder HFKW-1234ze verwendet,

[83] IVPU - Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V.

entstehen geschlossenzellige XPS-Hartschaumprodukte, die auch während der Anwendung und bei der Entsorgung HFKW-Emissionen verursachen.

Die Zeitreihe beginnt im Jahr 2001 und zeigt zunächst einen Anstieg der Emissionen bis zum Jahr 2002. Ab dem Jahr 2003 sinken die Emissionen kontinuierlich ab, was mit dem zunehmenden Einsatz nichthalogenierter Treibmittel bei der XPS-Hartschaumproduktion in Deutschland zusammenhängt.

4.7.2.2.2 Methodische Aspekte (2.F.2 XPS)

Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation des HFKW-Neuverbrauchs der Produktion von XPS-Dämmplatten mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet.

Anwendungsemissionen errechnen sich gemäß Gleichung 2 aus dem inländischen HFKW-Endbestand in XPS-Dämmstoffen. Dieser erhöht sich jährlich nur durch Neuzugänge von HFKW-134a-haltigen und HFKW-1234ze-haltigen Dämmplatten. Abgänge vom Bestand spielen bei einer Lebensdauer von 50 Jahren noch keine Rolle. Der HFKW-Neuzugang entspricht nicht dem jährlichen Neuverbrauch abzüglich der Herstellungsemissionen. Denn durch den Außenhandel, besonders den Export von HFKW-134a- oder HFKW-1234ze-haltigem XPS, bilden nur 25 % (Kehrwert der Exportquote) des in den Produkten enthaltenen HFKW-134a bzw. HFKW-1234ze einen Neuzugang zum inländischen HFKW-Bestand.

Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer der XPS-Dämmplatten von 50 Jahren setzt die Entsorgung frühestens im Jahr 2051 ein. Entsorgungsemissionen sind daher bisher nicht relevant.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234ze berichtet Deutschland gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“. Die HFKW-1234ze-Emissionen werden aus Vertraulichkeitsgründen mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen zusammengefasst und aggregiert in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 204 entnommen werden.

Die Herstellungsemissionen (HFKW-Erstjahresverlust) für HFKW-152a betragen praktisch 100 % ($EF_{Herstellung}$ = 1), da es bei der Produktion nur als Treibmittel genutzt wird. Beim HFKW-134a emittiert bei der Schäumung nur eine Teilmenge des Verbrauchs, der Hauptteil geht in das Produkt ein. Der $EF_{Herstellung}$ von HFKW-134a wird empirisch bestimmt und vom Fachverband CEFIC[84] bzw. dessen Branchenverband EXIBA[85] mitgeteilt. Er unterliegt der Geheimhaltung. Bis zum Vorliegen experimenteller Messwerte wird für mit HFKW-1234ze geschäumte XPS-Dämmplatten der gleiche $EF_{Herstellung\ angenommen\ wie\ für\ Dämmplatten,\ die\ mit\ HFKW\text{-}134a\ geschäumt\ wurden.}$

Das Auffangen und die Rückgewinnung der HFKW im Produktionsprozess wurden erprobt, bislang aber aus technischen und ökonomischen Gründen nicht umgesetzt.

Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) geben in Vol. 3, Tabelle 7.6 Default-Werte für mit HFKW-134a und HFKW-152a geschäumte Dämmplatten vor: Für den „first year loss“ beträgt er 25 % für HFKW-134a und 50 % für HFKW-152a. Die in Deutschland verwendeten Werte weichen, besonders für HFKW-152a, stark davon ab, werden aber als repräsentativ eingeschätzt, da die Angaben auf Aussagen von Branchenexperten beruhen.

[84] CEFIC – The European Chemical Industry Council
[85] EXIBA – European Extruded Polystyrene Insulation Board Association

Der Sprecher des Fachverbands Polystyrol-Extruderschaumstoff e.V. (FPX) schätzte die jährlichen Ausgasungen von eingeschlossenem HFKW-134a-Zellgas im Jahr 2002 auf unter 1 %. Dem zugrunde liegt u.a. eine interne Studie der BASF über die Halbwertszeit verschiedener Zellgase, u.a. auch HFKW-134a (Weilbacher, 1987). Der $EF_{Anwendung}$ aus dieser Laborstudie wird für den HFKW-134a benutzt. Die Diffusion aus den Platten ist dickeabhängig und kann nur als Durchschnitt bzw. als Wert für bestimmte Plattenstärken angegeben werden. Der verwendete Wert $EF_{Anwendung}$ = 0,66 % ist auf eine mittlere Plattenstärke bezogen und liegt unter dem in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Tabelle 7.6) vorgeschlagenen Wert von 0,75 %. Für mit HFKW-1234ze geschäumte Dämmplatten gibt es keine Default-Werte in den 2006 IPCC Guidelines. Es wird der gleiche $EF_{Anwendung}$ angenommen wie für HFKW-134a.

Aktivitätsdaten

Für den Inlands-Neuverbrauch von HFKW-134a und HFKW-152a werden die Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) sowie Informationen aus Herstellerbefragung herangezogen.

Für den Inlands-Neuverbrauch von HFKW-1234ze werden die Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) und Informationen des Treibmittelherstellers herangezogen.

Alle für die Emissionsberechnung erforderlichen Daten, wie Verlustrate bei der Produktion und Außenhandelssaldo für HFKW-134a-haltige Dämmplatten stammen vom europäischen Fachverband (CEFIC bzw. EXIBA).

4.7.2.3 Offenzelliger Polyurethan-Integralschaum (2.F.2 PU integral foam)

4.7.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU integral foam)

Offenzellige Polyurethan (PU)-Integralschäume sind Schaumstoffe, die einen porösen Kern und eine massive Randzone aufweisen. Ihre Herstellung erfolgt durch Reaktionsspritzgussverfahren. Dabei wird das Reaktionsgemisch inklusive des Treibmittels in flüssiger Form in die kalte Spritzgussform eingebracht. Bei der Verschäumungsreaktion emittiert das Treibmittel vollständig. PU-Integralschäume werden z.B. bei Sport- und Freizeitschuhsohlen, Autokarosserieteilen und Fensterprofilen eingesetzt. HFKW werden seit 1996 als Treibmittel bei der Produktion von PU-Integralschäumen eingesetzt.

In Deutschland werden neben dem HFKW-134a, der seit 1996 verwendet wird, seit dem Jahr 2002 auch HFKW-365mfc (mit einem geringen Zusatz an HFKW-227ea) und seit 2004 HFKW-245fa als Treibmittel eingesetzt.

Die Zeitreihe beginnt 1996 und verläuft bis zum Jahr 2001 relativ konstant. Ab 2002 steigen die Emissionen kontinuierlich an. Der verzögerte Einsatz der HFKW ist auf den langen HFCKW-Einsatz in der PU-Integralschaumproduktion in Deutschland zurückzuführen. 2012 ist ein Rückgang der Emissionen zu verzeichnen. Der Grund hierfür ist der verstärkte Einsatz von Kohlenwasserstoffen (z.B. Pentan) als Treibmittel, die die HFKW zunehmend verdrängen. Bis 2016 steigen die Emissionen jedoch wieder an, um ab 2017 wieder auf das Niveau vom Jahr 2010 abzufallen.

4.7.2.3.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU integral foam)

Gemäß 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006b): Seite 7.34, Gleichung 7.8) wird bei dieser offenen Anwendung die Emission gleich der bei der Produktion verwendeten HFKW-Menge (HFKW-Neuverbrauch) gesetzt.

Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation des HFKW-Neuverbrauchs der Produktion mit dem $EF_{Herstellung}$ gemäß Gleichung 1 errechnet.

Anwendungsemissionen und Entsorgungsemissionen fallen nicht an, da das Treibmittel bereits vollständig bei der Produktion emittiert.

Emissionsfaktoren

Der verwendete Emissionsfaktor kann Tabelle 204 entnommen werden.

Die 2006 IPCC Guidelines geben für PU-Integralschäume, die mit HFKW-134a, HFKW-245fa oder HFKW-365mfc (mit einem Zusatz von HFKW-227ea) geschäumt werden, einen Default-Wert für den Erstjahresverlust (first year loss) von 95 % vor. Als jährlicher Verlust wird ein Wert von 2,5 % angegeben, so dass Emissionen über drei Jahre anfallen.

Laut den befragten inländischen Experten entweicht das Treibmittel bei Integralschäumen bis auf wenige Reste während des Schäumungsvorgangs. Die Reste gasen maximal innerhalb eines Zeitraums von zwei Jahren aus. Daher wird in Deutschland im Unterschied zu den 2006 IPCC Guidelines ein Emissionsfaktor der Produktion von 100 % als angemessen betrachtet.

Aktivitätsdaten

Die Inlands-Neuverbräuche für jedes Treibmittel basieren auf den in Deutschland produzierten Mengen an Integralschäumen.

Die Inlands-Neuverbräuche werden jährlich durch Herstellerbefragung, Anwenderbefragung, Befragung von Treibmittellieferanten, Verbandsinformationen (IVPU) und den jährlichen Verwendungsmengen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhoben.

4.7.2.4 Offenzelliger Polyurethan-Montageschaum (2.F.2 one-component PU foam)

4.7.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 one-component PU foam)

Unter dem Begriff „Montageschaum“ wird offenzelliger Polyurethanschaum (PU-Schaum) verstanden, der aus Druckbehältern (Dosen) vor Ort, z.B. bei der Fenster- oder Türzargenmontage, ausgetragen wird. Als Treibmittel werden seit dem HFCKW-Verbot Gemische aus HFKW und Propan, Butan oder Dimethylether (DME) eingesetzt, wobei der HFKW-Anteil in den Dosen seit 1996 immer mehr reduziert worden ist.

HFKW-134a wird in Deutschland bereits seit 1992 bei der Produktion von PU-Montageschaumdosen eingesetzt, HFKW-152a fand zwischen 2002 und 2004 Verwendung in der nationalen Produktion. Importierte und in Deutschland verwendete Montageschaumdosen enthalten seit 1992 HFKW-134a und seit 1995 HFKW-152a.

Die Emissionen von PU-Montageschaum steigen von 1992 bis 1994 stark an, danach sinken sie kontinuierlich ab. Seit dem 4. Juli 2008 gilt, mit wenigen Ausnahmen, in der EU ein Verbot für das Inverkehrbringen von Einkomponentenschäumen, die mit fluorierten Treibhausgasen mit einem Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) über 150 befüllt wurden. Die Höhe der zukünftigen Emissionen wird daher voraussichtlich relativ konstant auf einem niedrigen Niveau bleiben.

4.7.2.4.2 Methodische Aspekte (2.F.2 one-component PU foam)

Die Fertigungsemissionen werden aus der Zahl der jährlich in Deutschland abgefüllten Dosen und dem Treibmittelverlust pro Dose berechnet.

Gemäß 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006b): Seite 7.34, Gleichung 7.8) wird bei dieser offenen Anwendung die Emission gleich der in den Dosen verkauften Menge HFKW gesetzt. Anwendungsemissionen werden über die in den Dosen verkaufte Menge an HFKW mit Gleichung 2 berechnet.

Entsorgungsemissionen fallen nicht an, da das in den Montageschaumdosen enthaltene HFKW bereits vollständig bei der Anwendung emittiert.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 204 entnommen werden.

Der $EF_{Herstellung}$ wurde durch Experten- und Herstellerbefragung ermittelt und hatte von 1992 bis 2002 einen Wert von 1,5 g/Dose, ab dem Jahr 2003 nur noch 0,5 g/Dose, da die Gesamtfüllmengen der Dosen seitdem kleiner sind.

Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) geben in Vol. 3, Tabelle 7.6 einen Erstjahresverlust von 95 % und einen jährlichen Verlust von 2,5 % für Einkomponenten-Montageschäume an, so dass die Emissionen über insgesamt drei Jahre verteilt sind. Im Unterschied zur IPCC-Methode wird für das deutsche Inventar angenommen, dass sämtliche Emissionen im Verkaufsjahr entstehen ($EF_{Anwendung}$ = 100 %), da eine zügige Anwendung und Entsorgung erfolgt. Zwar sind verbrauchte Dosen bei der Entsorgung nicht vollständig leer, sondern enthalten noch etwa 8 % der ursprünglichen Schaummenge einschließlich Treibgas. Dieses Treibgas gelangt jedoch verzögert zum größten Teil ebenfalls in die Atmosphäre.

Aktivitätsdaten

Die für die Ermittlung der Befüllungsverluste (Fertigungsemissionen) benötigten Daten, die Anzahl der jährlich in Deutschland abgefüllten Dosen mit HFKW-134a bzw. HFKW-152a, der HFKW-Gehalt je Dose in Gramm und der spezifische Befüllungsverlust werden durch Expertenbefragung und Informationen von Herstellern erhoben.

Die Anzahl der jährlich in Deutschland verkauften Dosen mit dem Treibmittel HFKW-134a bzw. HFKW-152a und der HFKW-Gehalt je Dose in Gramm, die für die Ermittlung der Anwendungsemissionen benötigt werden, stammen von den Herstellern von Montageschaumdosen.

Die Daten zu Montageschaum vor dem Jahr 1995 stammen aus einem Gespräch mit führenden ausländischen Einkomponenten-Montageschaum-Anbietern aus dem Jahr 2006 sowie älteren Veröffentlichungen.

4.7.2.5 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.2 alle)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Schäume ist erfolgt.

Bei PU-Schaumprodukten werden die Emissionsangaben für die zurückliegenden Jahre als gut bewertet, da die eingesetzten HFKW-Mengen eher klein sind.

Der XPS-Markt ist in Deutschland wegen weniger Hersteller überschaubar. Da die EF und AR in Zusammenarbeit mit den Herstellern erarbeitet wurden, werden sie als hinreichend genau bewertet.

Die Einsatzmengen der beiden HFKW-152a und HFKW-134a zur Produktion von XPS-Hartschaum wurden seit 2001 vom Fachverband recherchiert. Seit 2006 liegen darüber hinaus Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) vor. Da nur drei Hersteller HFKW für die XPS-Schäumung einsetzen, ist an der Datensicherheit der Aktivitätsdaten wenig zu zweifeln. Dies gilt auch für die Exportquote und die ermittelten HFKW-Herstellungsemissionen beim Einsatz von HFKW-134a.

Die Fertigungsemissionen bei der Anwendung des HFKW-152a von 100 % stimmen nicht mit den bisherigen IPCC-Schätzungen überein, wurden jedoch vom Fachverband als realistisch eingeschätzt.

Die durch eine Laborstudie erhaltene Emissionsrate aus dem laufenden Bestand wird angewendet, solange es keine zuverlässigen Messungen an wirklich genutzten Dämmplatten gibt, die in der Aussagekraft noch höher zu bewerten wären als Laborwerte.

4.7.2.6 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.2 alle)

Die Werte des Inlandsverbrauchs von HFKW-134a, HFKW-152a und HFKW-1234ze für die Produktion von XPS-Hartschaum werden ab 2007 den Erhebungen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen. Eine Rekalkulation ist jährlich für den Inlandsverbrauch des Vorjahres notwendig, da die nach UStatG erhobenen Daten erst im Dezember des Folgejahres vorliegen. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung für das Vorjahr.

Bei Polyurethan-Hartschaumprodukten und Polyurethan-Integralschäumen wurden die Inlandsverbräuche für die Produktion mit HFKW-227ea für die Jahre 2005 bis 2016 und 2018 aufgrund neuer Erkenntnisse rekalkuliert. Dadurch änderten sich die Emissionen der Produktion und Anwendung für diese Jahre.

Bei Polyurethan-Hartschaumprodukten und Polyurethan-Integralschäumen wurden die Inlandsverbräuche für die Produktion mit HFKW-245fa und HFKW-365mfc wegen Berücksichtigung der nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhobenen Anteile der verschiedenen Treibgase für das Jahr 2019 aktualisiert. Bei HFKW-365mfc wurde ebenfalls der Wert für das Jahr 2013 korrigiert.

Bei Polyurethan-Integralschäumen werden die Inlandsverbräuche für die Produktion mit HFKW-134a ab dem Jahr 2013 zukünftig den Erhebungen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen. Dadurch mussten die Emissionen der Produktion für diese Jahre rekalkuliert werden.Bei Polyurethan-Montageschäumen wurden die Füllmengen HFKW-134a und HFKW-152a der im Land verkauften Dosen für die Jahre 2017 und 2018 basierend auf Aussagen von Branchenkennern aktualisiert. Dadurch änderten sich die Anwedungsemissionen in diesen beiden Jahren.

Die Änderungen der Emissionen von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterkategorie Schaumherstellung (2.F.2) in den Jahren 2005 bis 2019 sind in Tabelle 206 aufgeführt.

Tabelle 206: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterquellgruppe Schaumherstellung (2.F.2) in den Jahren 2005 bis 2019

	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
EM HFKW-134a																
Submission 2022	t CO_2eq									465.686	495.259	513.399	485.041	483.634	295.415	59.917
Submission 2021	t CO_2eq									470.252	486.458	489.494	475.647	490.023	301.810	293.159
Differenz	t CO_2eq									4.566	-8.800	-23.905	-9.394	6.389	6.395	233.242
EM HFKW-152a																
Submission 2022	t CO_2eq													39.844	37.676	31.155
Submission 2021	t CO_2eq													39.367	37.228	37.479
Differenz	t CO_2eq													-477	-449	6.324
EM HFKW-227ea																
Submission 2022	t CO_2eq	12.383	9.664	27.825	24.439	30.920	28.722	31.744	29.743	28.293	24.907	47.339	57.315	75.095	17.044	18.462
Submission 2021	t CO_2eq	12.383	9.663	27.824	24.439	30.921	28.721	31.745	29.743	28.306	24.907	47.338	57.315	75.095	17.025	18.462
Differenz	t CO_2eq	0,02	1	0,4	-0,1	-1	1	-1	0,3	-13	-0,4	0,4	0,2	-0,1	19	1
EM HFKW-245fa																
Submission 2022	t CO_2eq															129.648
Submission 2021	t CO_2eq															131.321
Differenz	t CO_2eq															-1.673
EM HFKW-365mfc																
Submission 2022	t CO_2eq									86.999	95.375	169.136	175.827	185.600	90.205	165.755
Submission 2021	t CO_2eq									87.037	95.375	169.137	175.828	185.601	90.206	100.784
Differenz	t CO_2eq									-38	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	64.971

4.7.2.7 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.2 alle)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.7.3 Feuerlöschmittel (2.F.3)

4.7.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.3)

Die bis 1991 als Feuerlöschmittel erlaubten Halone sind weitgehend durch ökologisch unbedenkliche Stoffe ersetzt worden; vor allem Inertgase wie Stickstoff und Argon in Anlagen zur Beflutung von zu löschenden Innenräumen und Pulver, CO_2 oder Schaum in Handfeuerlöschern.

Als Halonersatz wurde in Deutschland 1998 der HFKW-227ea zugelassen. Danach folgte 2001 der HFKW 236fa, der aber nur im militärischen Bereich eingesetzt wird. Seit 2002 ist auch HFKW-23 zugelassen, wird aber erst seit 2005 eingesetzt. Eine Zulassung von Feuerlöschmitteln ist heute zwar nicht mehr notwendig, die Liste der eingesetzten Löschmittel hat sich aber trotzdem nicht erweitert, da alle Anwendungsbereiche mit halogenfreien und den genannten HFKW (besonders 227ea und 236fa) abgedeckt werden können.

Die HFKW-Feuerlöschmittel werden importiert und in Deutschland in Anlagen eingefüllt. Außenhandel bereits befüllter Anlagen kommt praktisch nicht vor. Die Zeitreihen beginnen erst 1998.

4.7.3.2 Methodische Aspekte (2.F.3)

Der jährliche HFKW-Neuzugang in inländischen Anlagen ist identisch mit der im Inland in Neuanlagen gefüllten Menge (HFKW-Neuverbrauch).

Da in Deutschland die Aktivitätsdaten für den HFKW-227ea und HFKW-236fa vorliegen, wird ein bottom-up Ansatz gewählt. Im Gegensatz zum top-down Ansatz der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 7.6) werden Befüllungsemissionen berücksichtigt.

Für den HFKW-23 werden die installierten Mengen mangels Daten vom Umweltbundesamt geschätzt. Ab dem Berichtsjahr 2016 wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Regelungen der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-GasV, 2014)keine Neuanlagen mehr installiert werden.

Die durchschnittliche Lebensdauer von Feuerlöschanlagen wird auf 20 Jahre geschätzt und liegt in der gleichen Größenordnung wie der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 7.6.2.2) vorgeschlagene Wertebereich von 15 bis 20 Jahren.

Entsorgungsemissionen treten erstmals 2018, nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 20 Jahren, auf.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 204 entnommen werden.

Die $EF_{Herstellung}$ basieren auf Expertenschätzungen.

Der $EF_{Anwendung}$ liegt für den HFKW-236fa und den HFKW-23bei 4 %. Die 4 % entsprechen den 2006 IPCC Guidelines. Für den HFKW-227ea liegen konkrete Installations- und Nachfüllmengen bis zum Berichtsjahr 2007 vor. Diese werden über den von der Firma geschätzten Marktanteil auf den gesamten deutschen Markt hochgerechnet.Ab dem Berichtsjahr 2008 werden die

Emissionen aus der Anwendung mit einem Emissionsfaktor von 2,5% berechnet. Im Gegensatz zu den Guidelines, die einen EF= 4% annehmen, gehen wir von einem geringeren Emissionsfaktor aus. Dies begründet sich durch die bisher gemeldeten deutlich geringeren Emissionen/ Nachfüllmengen für einen Großteil des Marktes sowie aus den Erfahrungen bei der Umsetzung der Verordnung(EU) 517/2014 über fluorierte Treibhausgase.

Für alle HFKW beträgt der Emissionsfaktor der Entsorgung 1 %. Dieser Wert weicht, auf Empfehlung der Experten von Öko-Recherche, von den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 7.6.2.2) ab, da in der Praxis Gasflaschen von der Anlage getrennt werden und in die Wiederverwendung gehen.

Aktivitätsdaten

Die Emissionsangaben zum HFKW-227ea basieren auf statistischen Erhebungen eines Unternehmens zu Einsatzmengen, Nachfüllmengen, Fehlauslösungen, Auslösungen im Brandfall und Probeflutungen in Deutschland (in Anlehnung an Tier 2). Aufgrund der von der Firma geschätzten Marktanteile wird eine Hochrechnung vorgenommen. Diese Daten liegen in diesem Detaillierungsgrad bis zum Berichtsjahr 2007 vor. Ab dem Berichtsjahr 2008 berichten zwei Firmen ihre Verwendungsmengen. Beide Firmen haben einen Marktanteil von 90%, Die Einsatzmengen werden auf 100% hochgerechnet.

Die Angaben zum HFKW-236fa basieren auf freiwilligen Firmenangaben. Die Angaben zum HFKW-23 beruhen auf Schätzungen des UBA.

4.7.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.3)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Feuerlöschmittel ist erfolgt.

4.7.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.3)

Es waren keine Rückrechnungen erforderlich.

4.7.3.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.7.4 Aerosole (2.F.4)

In diesen Bereich fallen die Dosieraerosole (Metered Dose Inhalers, MDI), die im medizinischen Bereich angewendet werden, sowie die allgemeinen Aerosole und die sogenannten Novelty-Aerosole.

4.7.4.1 Dosieraerosole (2.F.4.a)

4.7.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.a)

Dosieraerosole werden im medizinischen Bereich, überwiegend zur Behandlung von Asthma, eingesetzt. In Deutschland kam das erste HFKW-getriebene Dosieraerosol 1996 mit dem Treibmittel HFKW-134a auf den Markt. Ab dem Jahr 1999 wurden auch Dosieraerosole mit dem Treibmittel HFKW-227ea vertrieben. Seitdem ist die Anzahl der Präparate kontinuierlich gestiegen. Eine inländische Abfüllung mit dem HFKW-134a gibt es seit dem Jahr 2001.

Die Zeitreihe zeigt von 1996 bis 2002 einen steilen Anstieg der Emissionen, der in Einklang mit der zunehmenden Verwendung der HFKW als FCKW-Ersatzstoffe steht. Ein großer Sprung ist 2001 zu verzeichnen. Ab diesem Jahr wurden FCKW für die größte Wirkstoffgruppe, die kurzwirksamen Beta-Mimetika, verboten. Ab dem Jahr 2003 sind die Emissionen relativ konstant auf gleichbleibend hohem Niveau.

4.7.4.1.2 Methodische Aspekte (2.F.4.a)

Da 98 % des Doseninhalts von Dosieraerosolen aus Treibgas besteht, wird der Doseninhalt als reiner HFKW aufgefasst.

Die Fertigungsemissionen werden aus der Zahl der jährlich in Deutschland abgefüllten Dosieraerosolen und dem Treibmittelverlust pro Dose berechnet. Die Emissionen wären höher, wenn nicht ein Teil des Treibgases mithilfe einer Kältefalle aufgefangen und der Verbrennung zugeführt würde.

Anwendungsemissionen werden über die in den Dosieraerosolen verkaufte Menge an HFKW mit Gleichung 2 berechnet. Die große Mehrheit der Dosieraerosole in Deutschland wird in Apotheken verkauft. Auf weitere 10 % wird der Bedarf in Krankenhäusern geschätzt, und 3 % sind „unverkäufliche Muster“ für Ärzte und Pharmareferenten. Diese Anteile werden durch einen Zuschlagsfaktor von 13 % auf die Apothekenverkäufe berücksichtigt.

Die Zeitspanne zwischen Apothekenverkauf und Anwendung ist kurz. Bezugsgröße für die Anwendungsemissionen ist daher nicht wie in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Gleichung 7.6) vorgeschlagen die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des vorherigen Jahres und des aktuellen Jahres, sondern die gesamten Käufe/Verkäufe des aktuellen Jahres. Der Ansatz der 2006 IPCC Guidelines böte sich an, wenn nicht verkaufte, sondern produzierte Dosen als Daten vorlägen, weil zwischen Produktion und Anwendung tatsächlich viel Zeit für Transport- und Lagerung vergehen kann.

Entsorgungsemissionen fallen nicht an, da die in den Dosieraerosolen enthaltenen HFKW bereits vollständig bei der Anwendung emittieren.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 204 entnommen werden.

Der den Herstellungsemissionen zu Grunde liegende $EF_{Herstellung}$ basiert auf im Betrieb von der einzigen deutschen Abfüllfirma von Dosieraerosolen sehr exakt ermittelten Befüllemissionen. Diese betragen 1,5 %, bezogen auf den Neuverbrauch zur Befüllung. Das entspricht etwa 0,2 g pro 10 ml-Dose.

In Übereinstimmung mit den IPCC Vorgaben (2006 IPCC Guidelines, Vol. 3, Seite 7.28) wird von einer 100 %igen Emission bei der Anwendung ausgegangen ($EF_{Anwendung}$ = 1). Inhalierte HFKW setzen sich in den Atemwegen nicht um, sondern gelangen beim Ausatmen unverändert in die Atmosphäre. In Deutschland wird abweichend von den Guidelines nur eine einjährige Lebensdauer der Aerosoldosen zugrunde gelegt. Der Emissionsfaktor ist daher als „country specific“ eingestuft.

Aktivitätsdaten

Die Emissionsdaten bis zum Berichtsjahr 2005 (Produktion) bzw. 2006 (Anwendung) basieren auf Verkaufszahlen (Apothekenverkäufen) von Dosieraerosolen in Deutschland, die über Befragungen der Produzenten erhoben wurden. Dabei werden die gesamte Stückzahl, die durchschnittliche Füllmenge in ml und das eingesetzte Treibgas zur Aufbereitung herangezogen. Ab dem Berichtsjahr 2006 beruhen die Angaben zur Aktivitätsrate der Produktion bzw. ab dem Jahr 2007 auch die zur Aktivitätsrate der Anwendung auf Expertenschätzungen. Die Ergebnisse

der jährlichen Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe des Statistischen Bundesamtes (UStatG, 2005) liegen im Bereich der Dosieraerosole nicht rechtzeitig für das laufende Berichtsjahr vor, es wird jedoch, wenn erforderlich, rückwirkend ein Datenabgleich vorgenommen.

4.7.4.2 Sonstige Aerosole (2.F.4.b)

4.7.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.b)

In Deutschland werden sechs Arten allgemeiner Aerosole (ohne medizinische Dosieraerosole und Novelties) mit HFKW verwendet:

- Druckluftsprays,
- Kältesprays,
- Abflussreiniger-Sprays,
- Schmiermittelsprays,
- Insektizide und
- Abwehrsprays.

Die Produktion und Anwendung von allgemeinen Aerosolen mit HFKW-134a begann im Jahr 1992, mit HFKW-152a im Jahr 1995. Seit dem Jahr 2013 kommt auch der HFKW-1234ze als Treibmittel in Kältesprays und Reinigungssprays zum Einsatz. Die Zeitreihe zeigt von 1992 bis 1996 einen steilen Anstieg der Emissionen, der in Einklang mit der zunehmenden Verwendung der HFKW als FCKW-Ersatzstoffe steht. Zwischen 1996 und 2005 sind die Emissionen konstant. Ein großer Sprung nach unten ist 2009 zu verzeichnen, danach steigen die Emissionen wieder leicht an, um ab 2017 auf sehr niedrige Werte abzusinken.

Zu den sonstigen Aerosolen zählen auch die so genannten Novelty-Aerosole (künstlicher Schnee, Luftschlangensprays u.a.), die aber nicht in Deutschland hergestellt werden. Die Anwendung von Novelties mit HFKW-134a beginnt im Jahr 1995, die mit HFKW-152a im Jahr 2000. Ab 2004 sinken die Emissionen stark ab, seit dem Jahr 2010 befinden sie sich auf konstant niedrigem Niveau. Grund dafür ist das ab dem 4. Juli 2009 in der EU geltende Verbot für das Inverkehrbringen von neuartigen Aerosolen, die mit teilfluorierten Kohlenwasserstoffen mit einem Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) über 150 befüllt sind, das zu einem vorzeitigen Umstellen der Produktion auf andere Treibgase führte.

Für technische Aerosole, die HFKW mit einem GWP über 150 verwenden, gilt mit wenigen Ausnahmen ein Verbot des Inverkehrbringens in die EU ab 01. Januar 2018.

4.7.4.2.2 Methodische Aspekte (2.F.4.b)

Bei allgemeinen Aerosolen halten sich Importe und Exporte die Waage, so dass der Inlandsmarkt mit dem Verbrauch für die inländische Abfüllung gleichgesetzt werden kann. Der inländische Verbrauch richtet sich nach den im Inland abgefüllten Dosen, unabhängig davon, wo diese angewendet werden. Die Fertigungsemissionen werden aus dem HFKW-Verbrauch für die inländische Abfüllung allgemeiner Aerosole und dem Treibmittelverlust bei der Produktion gemäß Gleichung 1 berechnet.

Novelty-Aerosole werden nicht in Deutschland hergestellt. Für Novelty-Aerosole ist der Anteil des deutschen Markts am EU-Markt Basis für die Berechnung der in den Novelty-Aerosoldosen verkauften HFKW-Mengen.

Anwendungsemissionen werden über die in den sonstigen Aerosolen verkaufte Menge an HFKW mit Gleichung 2 berechnet.

Da die Anzahl der verkauften und nicht der produzierten Aerosoldosen Ausgangspunkt für die Berechnungen ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Zeitspanne zwischen Verkauf und Anwendung sehr kurz ist. Bezugsgröße für die Berechnung der Anwendungsemissionen sind daher die gesamten Käufe/Verkäufe des aktuellen Jahres und nicht, wie in den 2006 IPCC Guidelines (Vol. 3, Gleichung 7.6) vorgeschlagen, die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des vorherigen Jahres und des aktuellen Jahres.

Da die in den Aerosolen enthaltenen HFKW bereits vollständig bei der Anwendung emittieren, müssen keine Entsorgungsemissionen berichtet werden.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234ze berichtet Deutschland gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“. Die HFKW-1234ze-Emissionen werden aus Vertraulichkeitsgründen mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen zusammengefasst und aggregiert in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 204 entnommen werden.

Der den Herstellungsemissionen zu Grunde liegende $EF_{Herstellung}$ = 1,5 % von allgemeinen Aerosolen basiert auf Expertenschätzungen.

Es wird analog den IPCC Vorgaben (IPCC (2006b), Vol. 3, Seite 7.28) sachgerecht von einer 100 %igen Emission bei der Anwendung der sonstigen Aerosole ausgegangen ($EF_{Anwendung}$ = 1). Anders als in den Guidelines vorgeschlagen, wird von der in Deutschland abgesetzten Anzahl von Dosen angenommen, dass sie vollständig im gleichen Jahr verbraucht wird. Der Emissionsfaktor ist daher als „country specific“ eingestuft.

Aktivitätsdaten

Die Daten vor 1995 basieren auf Expertenschätzungen. Entsprechend einem bottom-up-Ansatz stammen sämtliche Mengendaten ab 1995 direkt von Produzenten, Abfüllern und Betreibern, Treibmittelherstellern bzw. der Branchenvereinigung. Für allgemeine Aerosole kommen noch Befüllungsemissionen (= Herstellungsemissionen) hinzu. Grundlage für eine Schätzung ist EU-weites Datenmaterial.

4.7.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.4 alle)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Aerosole ist erfolgt.

Bei Dosieraerosolen kann der Zuschlagsfaktor für Krankenhäuser und Ärztemuster um 3 % nach oben oder unten von den 13 % abweichen.

Gegenüber den Emissionsangaben zu Dosieraerosolen werden die Angaben für die sonstigen Aerosole als nicht so gut bewertet, da aufgrund der Vielzahl von Produkten der Marktüberblick begrenzt ist. Auch sind hohe Importmengen, vor allem bei den „Novelties“ problematisch. Die Unsicherheiten sind daher deutlich höher (über 20 %).

Da der Umstieg von FCKW auf chlorfreie Treibgase bereits Anfang der 1990er Jahre vollendet war, ist die Zeitreihe von 1995 bis 2005 weitgehend unverändert, seit 2006 sind leichte Emissionsrückgänge zu verzeichnen.

4.7.4.3.1 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.4 alle)

Es waren keine Rückrechnungen erforderlich

4.7.4.3.2 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.4 alle)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.7.5 Lösemittel (2.F.5)

4.7.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.5)

Der Einsatz von HFKW als Lösemittel war in Deutschland bis zum Jahr 2001 verboten (2. BImSchV) und ist auch heute noch stark eingeschränkt. Jede Oberflächenbehandlungsanlage, die HFKW in Reinform oder in Gemischen mit trans-1,2-Dichlorethen einsetzt, muss einzeln beantragt werden, wobei eine Bewilligung nur im Sonderfall erteilt wird. Eingesetzt werden heute neben dem HFKW-43-10mee auch in sehr geringem Umfang der HFKW-365mfc (seit 2013), der HFKW-245fa (seit 2010) und C_6F_{14} (seit 2006).

4.7.5.2 Methodische Aspekte (2.F.5)

Die Emissionsberechnung erfolgt nach Tier 2a der 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 7.2). Es fallen nur Emissionen während der Anwendung an.

Emissionsfaktoren

Es wird analog den IPCC Vorgaben (IPCC (2006b): Vol. 3, Gleichung 7.5) sachgerecht von einer 100 %igen Emission bei der Lösemittelanwendung innerhalb von 2 Jahren ausgegangen ($EF_{Anwendung} = 1$).

Aktivitätsdaten

Die Verbrauchsangaben für den HFKW-43-10mee basieren auf den Verkaufsdaten eines autorisierten Händlers. Die verwendeten Mengen des HFKW-245fa und des HFKW-365mfc beruhen auf Angaben der Lösemittelproduzenten. Der Inlandsverbrauch von C_6F_{14} stammt aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005).

Da die Daten vertraulich sind, werden sie unter CRF 2.H.3 berichtet.

4.7.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.5)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Lösemittel ist erfolgt. Die Verbräuche für die Lösemittel kommen direkt von Einzelfirmen. Die Unsicherheiten für die Emissionen (U_{min}/U_{max}) sind daher sehr gering und werden mit 2 % angenommen. Eine Ausnahme bildet das C_6F_{14}. Hier liegen die Unsicherheiten für die Emissionen laut Expertenschätzung (U_{min}/U_{max}) bei 20 %.

Vor 2006 waren die Emissionen auf konstant niedrigem Niveau. Zwischen 2006 und 2008 kam es kurzfristig zu einem starken Anstieg der Emissionen, u.a. durch die einsetzende Verwendung von C_6F_{14}. Seit 2009 sind die Verwendungsmengen und damit auch der Emissionen relativ konstant auf niedrigem Niveau.

4.7.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.5)

Rückrechnungen waren nicht erforderlich.

4.7.5.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.5)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.7.6 Andere Anwendungen, die ODS Ersatzstoffe verwenden (2.F.6)

Deutschland berichtet keine Emissionen in dieser Kategorie.

4.7.7 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.F alle)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie bereits für die meisten Vorjahre, im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes durch einen externen Experten erhoben.

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch den externen Experten. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Der gesamte Sektor der F-Gas Emissionen wurde im Jahr 2011 einer freiwilligen trilateralen Überprüfung unterzogen. Experten aus England, Deutschland und Österreich überprüften die F-Gas Inventare der anderen Länder. Das Ziel der Überprüfung war der Informationsaustausch über die länderspezifischen Methoden der Erstellung der F-Gas Inventare, ein Einblick in die institutionellen und rechtlichen Regelungen für die F-Gas Inventare in jedem Land, die Identifizierung der Hindernisse zur Erstellung von vollständigen und exakten Inventaren und die Diskussion der Unterschiede und Ähnlichkeiten in den Methoden, die zur Erstellung der F-Gas Inventare verwendet werden. Das Treffen hat allen drei Ländern geholfen, die verwendeten Methoden zur Emissionsberechnung zu überprüfen. Weiterhin konnten die Transparenz, die Vollständigkeit und die Genauigkeit der Inventare bewertet werden. Das positive Ergebnis war, dass Deutschland ein gutes F-Gase-Inventar hat. Im Ergebnis wurden keine Empfehlungen für Verbesserungen des deutschen F-Gase-Inventars ausgesprochen.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt, den vom Forschungsnehmer erhobenen und den von Firmen gemeldeten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren entsprechen den Default-Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines oder liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

4.8 Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/T	**2 G, Other Product Manufacture and Use**		**N2O**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**
L/T	**2 G, Other Product Manufacture and Use**		**SF6**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		C10F18	C	C	C	C	C
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		CH4	4,5	0,0%	23,3	0,0%	415,2%
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-134a	0,0	0,0%	0,2	0,0%	-
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-245fa	0,0	0,0%	13,3	0,0%	-
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-365mfc	0,0	0,0%	0,7	0,0%	-

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, PFC, HFC	s. Tabelle 207	s. Tabelle 207	s. Tabelle 207

Die Kategorie *Sonstige Produktherstellung und –verwendung* ist für SF_6-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend und für N_2O-Emissionen nur nach dem Trend.

Zu der Quellgruppe 2.G gehören SF_6 aus elektrischen Betriebsmitteln (2.G.1), SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2), Verwendung von N_2O (2.G.3), Verwendung von F-Gasen in ORC-Anlagen (2.G.4 ORC-Anlagen) und in der Containerbegasung (2.G.4 Containerbegasung) sowie CO_2-, CH_4-, N_2O- und Staub-Emissionen aus der Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle). Aus der Anwendung von Zigaretten (2.G.4) und Feuerwerkskörpern (2.G.4) werden Staub, Vorläufersubstanzen und Schwermetalle berichtet. Zwecks genauerer Datenerhebung erfolgt im Folgenden z.T. eine weitere Unterteilung dieser Unterquellgruppen.

Die der Emissionsberechnung zugrunde liegenden Methoden, Emissionsfaktoren und Lebensdauern finden sich in Tabelle 207.

Tabelle 207: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.G.1 (Elektrische Betriebsmittel), 2.G.2 (SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung) und 2.G.4 (ORC-Anlagen, Containerbegasung & Anwendung von Holzkohle)

	QG	Methode	Schadstoff			Lebensdauer	Emissionsfaktor (dimensionslos)		
			SF_6	HFKW	FKW	[Jahre]	Herstellung	Anwendung	Entsorgung
Elektrische Betriebsmittel	**2.G.1**								
Schaltanlagen	2.G.1a	Tier 3	SF_6			40	0,02 (CS)	0,001 – 0,01 (CS)	0,015 (CS)
SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung	**2.G.2**								
AWACS	2.G.2a	CS	SF_6				NO	1 (CS)	NO
Teilchenbeschleuniger	2.G.2b	CS					0,15 - 1 (CS)	0,006 – 0,003 (CS)	NO
Isolierglasfenster	2.G.2c	Equ. 3.24 ff					0,33 (D)	0,01 (D)	1 (D)
Adiabatisches Verhalten	2.G.2d								
- Autoreifen		Equ. 3.23	SF_6				NO	NO	1 (D)
- Sportschuhe		Equ. 3.23	SF_6		FKW		NO	NO	1 (D)
Sonstige	2.G.2e								
- Spurengas		Equ. 3.22	SF_6				NO	1 (D)	NO
- Schweißen		CS	SF_6				NO	1 (CS)	NO
- Optische Glasfasern		CS	SF_6				C	NO	NO
- Medizin- und Kosmetik		CS			FKW	-	NO	1 (D) 0,95 – 0,998 (CS)	NO
Verwendung von N_2O	**2.G.3**								
Halbleiterherstellung		D	N_2O				C		
Narkotikaanwendung		D						1	
Sprengstoffanwendung		D						0,1036 kg/t	
Sprühdosen		D						1	
Andere	**2.G.4**								
ORC-Anlagen	2.G.4a	CS		HFKW	FKW	20 – 30 (CS)	0,02 (CS)	0,04 (CS)	0,2 (CS)
Containerbegasung	2.G.4a	CS	SO_2F_2			-	NO	1 (CS)	NO
Anwendung von Holzkohle	2.G.4b	Tier 1	CO_2-, CH_4-, N_2O- und Staub				C	C	

4.8.1 Elektrische Betriebsmittel (2.G.1)

Diese Kategorie umfasst die Anwendungen der elektrischen Betriebsmittel (2.G.1), die sich in Hochspannungs (HS)- und Mittelspannungs (MS)- sowie sonstigen elektrischen Betriebsmitteln unterteilen.

4.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.1)

In der elektrischen Energieübertragung und -verteilung findet SF_6 als Lösch- und auch als Isoliergas vor allem in Schaltanlagen und Schaltgeräten der Hochspannung (52-380 kV) und zunehmend auch in der Mittelspannung (10-52 kV) Verwendung. Außerdem wird es noch bei der Herstellung von Komponenten eingesetzt, die entweder in gasisolierten Innenraum-Schaltanlagen eingebaut werden (Wandler, Durchführungen) oder direkt zu Betreibern gelangen (HS-Freiluftwandler).

Durch die erstmalige Erfassung weiterer SF_6-Anwendungen im Berichtsjahr 2002 kam es in der Zeitreihe im Jahr 2002 zu einem sprunghaften Anstieg der Emissionen. Im Berichtsjahr 2005 wurden neue Unternehmen in die Berichtserstattung aufgenommen, insbesondere in der neuen Kategorie „Sonstige elektrische Betriebsmittel“. Konjunkturell bedingt wurden 2005 und 2006 mehr Anlagen verkauft. Insgesamt sinken die absoluten Emissionen, vor allem durch sinkende Emissionen aus der Hochspannung. Emissionen aus der Mittelspannung und sonstigen Betriebsmittel steigen, nicht zuletzt durch eine stetig wachsende Anlagenzahl. . Die Industrie, vertreten durch die Hersteller- und Betreiberverbände sowie dem SF_6 -Produzenten, hat sich 1996 zur Emissionsminimierung in allen Lebenszyklen von Schaltanlagen sowie zu einer

jährlichen Berichterstattung verpflichtet. Im Jahre 2005 wurde diese Selbstverpflichtung in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und dem Bundesumweltministerium auf weitere Anwendungen im Bereich der Energieübertragung und -verteilung über 1 kV ausgedehnt und um konkrete Reduktionsziele ergänzt. Die freiwillige Berichterstattung wurde entsprechend ergänzt und verfeinert. In den nachfolgenden Jahren wurde seitens der Hersteller und des Gasproduzenten weiter in Minderungsmaßnahmen investiert. Bei Durchführungen konnten in Teilbereichen SF_6-Schäume substituiert werden.

4.8.1.2 Methodische Aspekte (2.G.1)

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 207 entnommen werden.

Die Emissionsangaben basieren im Wesentlichen auf einer Massenbilanz, zunehmend kombiniert mit Emissionsfaktoren für Teilbereiche, in denen Massenbilanzierung an messtechnische Grenzen stößt bzw. mit einem unangemessenen Aufwand verbunden wäre.

Die angewendete Methodik basiert auf der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, Kapitel 8.2.2) beschriebenen Methode „Tier 3 Hybrid Life-Cycle Approach“ (Hybride Methode nach Lebenszyklen).

Anwendungsemissionen

Laufende Bestandsemissionen beziehen sich auf den seit 1970 durch jährliche Zugänge in Schaltanlagen akkumulierten SF_6-Bestand, der im Mittel des Jahres n besteht.

Der SF_6-Endbestand in der Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel eines bestimmten Jahres n verändert sich jährlich um den Saldo aus Zugang und Abgang. Vereinzelte Abgänge (Hochspannung) werden seit 1997 registriert; ein verstärktes Ausscheiden von Hochspannungsschaltanlagen und -geräten der ersten Generation ist bei einer auf mindestens 40 Jahre geschätzten Lebensdauer erst nach 2015 zu erwarten.

Drei Besonderheiten sind bei der Berichterstattung zu Schaltanlagen zu beachten:

- Die Berechnung des Endbestandes für jedes Jahr n basiert zwar jeweils auf dem Endbestand des Vorjahres (n-1), jedoch nicht bis zum allerersten Einsatzjahr. Dieses sonst übliche Verfahren entfällt bei Schaltanlagen, weil die Betreiber/Hersteller den SF_6-Bestand für 1995 abgeschätzt haben, und zwar getrennt für Hoch- und Mittelspannung (770 t bzw. 157,6 t).
- Bestands- und Emissionsermittlung erfolgen in der Hochspannung durch regelmäßige Direkterhebungen bei den ca. 100 Betreibern. Diese werden unmittelbar nach ihrem aktuellen Bestand an SF_6 in Betriebsmitteln (GIS, Leistungsschalter, Freiluftwandler) befragt. Auf diese Bestandsdaten werden Emissionsfaktoren angewendet, die anhand von Referenzanlagen bestimmt worden sind.

- Mittelspannungs-Schaltanlagen haben sehr zahlreiche und zugleich sehr heterogene Betreiber. Direktbefragungen scheiden daher aus. Die Hersteller der Mittelspannungsanlagen haben es selbst übernommen, auf Basis ihrer Verkaufsdaten den inländischen Bestand fortzuschreiben. Die Emissionsermittlung ist dadurch möglich, dass die Anlagen praktisch wartungsfrei sind und per Definition (IEC 62271-1) während der gesamten Lebensdauer keine Nachfüllung benötigen. Die Emissionen sind minimal (meist nur infolge äußerer Einwirkungen) und können durch einen pauschalen Emissionsfaktor (Expertenbefragung) abgedeckt werden: Die Emissionsrate wird seit 1998 mit konstanten 0,1 % angesetzt, da seit Mitte der 90er Jahre praktisch nur noch Anlagen zum inländischen Bestand gelangen, die als "sealed for life" (hermetisch abgeschlossene Drucksysteme nach IEC) gelten. In der Selbstverpflichtung 2005 haben sich zudem die Betreiber verpflichtet, nur noch solche Anlagen einzusetzen. Wenige ältere Anlagen mit Emissionsraten höher als 0,1 % verlieren dadurch an Gewicht. Die Berechnung des Bestandes basiert auf dem Bestand des Vorjahres zuzüglich Neulieferungen und abzüglich Außerbetriebnahmen.

Entsorgungsemissionen

Wegen der langen Lebensdauer von Schaltanlagen (40 Jahre) und dem Ersteinsatz von SF_6 Ende der 1960er Jahre kam es bis 2004 nur zu geringen Entsorgungsemissionen. Aus Altanlagen (Hoch- und Mittelspannung) zur Entsorgung anstehende SF_6-Mengen wurden daher bis 2004 nur grob geschätzt (auf konstante 3 t/a). Ab dem Berichtsjahr 2005 wurden die Entsorgungsmengen von den Verbänden aus dem Anlagenrückbau erstmals präzise ermittelt. Dies gilt auch für die Emissionen aus der Entsorgung, die vor 2005 mit 0,06 t abgeschätzt wurden.

Aktivitätsdaten

Im Rahmen der Selbstverpflichtung wird der Jahresverbrauch der Hersteller aller Betriebsmittel sowie der Bestand von Mittelspannungsschaltanlagen vom ZVEI, der Bestand von Hochspannungsschaltanlagen, Freiluftwandlern, gasisolierten Leitungen und Transformatoren vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN) im Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) und seit 2004 vom Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) dem Umweltbundesamt übermittelt. Die Außerbetriebnahmemengen ermitteln die Teilnehmer der Selbstverpflichtung gemeinsam.

In Tabelle 208 sind die Inventardaten für das aktuelle Jahr in Unterkategorien aufgeführt und erläutert. Die Summe der elektrischen Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung deckt sich mit den Daten in Tabelle 2 (II)F, Blatt 2, Kategorie 2.G.1 im CRF.

Tabelle 208: Inventardaten 2020 der Kategorie 2.G.1 mit Unterkategorien

Kategorie 2.G.1.: Elektrische Betriebsmittel der Energieüber-tragung und -verteilung	Aktivitätsdaten			Emissionen	
	Jahresver-brauch Herstellung	Bestand	Außer Betrieb genommen (Tonnen SF_6)	Herstellung	Betrieb
Elektrische Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung 2.G.1 (Summe), darin:	**539**	**3075**	**11**	**3,3**	**5,9**
MS Schaltanlagen und -geräte *	181	1427	1,0	0,3	1,4
HS Schaltanlagen und -geräte**	287	1295	10	1,2	3,5
Sonstige Elektrische Betriebsmittel ***	71	353	0	1,8	1,0

IE=in HS Schaltanlagen enthalten; marginal

Erläuterungen

* hermetisch abgeschlossene Drucksysteme nach IEC 62271-1 über 1kV bis einschließlich 52 kV; auch „Sealed for life“ genannt

** Geschlossene Drucksysteme nach IEC 62271-1 über 52 kV

*** Gasisolierte Transformatoren: marginaler Restbestand im Netz; (keine Herstellungsemissionen) + Hochspannungs-Freiluftmesswandler (alle Emissionskategorien) + Gasisolierte Leitungen-GIL- (alle Emissionskategorien) + Hochspannungsdurchführungen (nur Herstellungsemissionen) + Mittelspannungs-Gießharzmesswandler (nur Herstellungsemissionen) + Prüfung von Mittelspannungskomponenten (nur Herstelleremissionen) + Kondensatoren 1000V (nur Herstellungsemissionen)

4.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.1)

Da es nur ca. zehn verschiedene Hersteller der Betriebsmittel (einschließlich Durchführungen und Wandler) gibt, sind die Verbrauchsdaten, die Angaben zu Neulieferungen und Außerbetriebnahmen sehr sicher, zumal eine interne Buchführung dahintersteht und die Füllmengen mit hoher Präzision ermittelt und auf den Typenschildern dokumentiert werden. Die Ungenauigkeit liegt hier im Bereich von ± 5 %.

Bei den Emissionen ist die Erfassung schwieriger, da in den Betrieben mehrere Emissionsquellen vorhanden sind, die für sich genommen mitunter recht klein sind. Gasverluste entstehen beim Befüllen von Geräten, beim Testen, beim Öffnen von Ausschuss, in der Entwicklungsabteilung usw. Allerdings gehen mittlerweile alle inländischen Werke nach einem einheitlichen Fragebogen vor, der sämtliche möglichen Emissionsquellen nennt und der im Rahmen der Erhebung auf seine Richtigkeit geprüft wird. Aus diesem Grund und der geringen Anzahl an Herstellern (s.o.) hängt die Exaktheit der Erhebung letztlich von der Messgenauigkeit ab. Diese bewegt sich im Bereich von ± 10 % der Abschätzungen.

Die Emissionen aus dem Betrieb in der Hochspannung werden von ausgewählten Betreibern mit Referenzanlagen über die jährlichen Nachfüllungen ermittelt (Nachfüllungen erfolgen bei Unterschreitung von 90 % des Soll-Füllstandes, was in der Regel vom Gerät selbst angezeigt wird). Diese Methode ist als sehr sicher zu bewerten, d.h. die Abweichungen vom wahren Wert betragen etwa ± 5 %. Alle bisherigen Erhebungen führten zu nahe beieinander liegenden Größenordnungen für die Emissionsraten, die zwischen 0,55 und 0,88 % betrugen. Die einmalige Spitze bei der Emissionsrate von Hochspannungs- Schaltanlagen in 2004 erklärt sich aus Sonderereignissen; im Wesentlichen dem zeitgleichen Nachfüllen von alten, weniger dichten Anlagen älterer Bauart.

Beim HS-Bestand und damit auch bei den Emissionen, die sich beide seit 1995 grundsätzlich erhöhen, gibt es im Jahr 2000 einen Rückgang gegenüber dem Vorjahr um über 25 t beim Bestand (und 0,85 t bei den Emissionen). Dieser Rückgang, der auf HS-GIS (600 zu 567 t) zurückgeht, ist nicht durch Abgänge durch Außerbetriebnahme zu erklären, da diese noch keine nennenswerte Rolle spielen. Dem Verband der Netzbetreiber (VDN) zufolge, der die Erhebungen damals durchführte, steckt dahinter sowohl ein statistisches als auch organisatorisches Problem.

Ende der 1990er Jahre fanden im Zuge der Liberalisierung des Strommarktes bei den Betreibern tiefgehende Umgruppierungen (durch Fusionen und Eigentumswechsel von Unternehmensteilen) statt, so dass die personellen Zuständigkeiten für den Betriebsmittelbestand immer wieder wechselten. So sind Doppelzählungen im Jahr 1999 nicht auszuschließen, ebenso wie nicht erfasste Betriebsmittel im Jahr 2000. Aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre kann aber heute von einer Ungenauigkeit in der Größenordnung von ± 5 % beim HS-Bestand ausgegangen werden.

Die Emissionsrate 0,1 % in der Mittelspannung ist für hermetisch abgeschlossene Drucksysteme nach IEC üblich.

4.8.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.1)

Rückrechnungen waren nicht erforderlich.

4.8.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie in den Vorjahren, von den Hersteller- und Betreiberverbänden sowie dem SF_6 –Produzenten im Rahmen der Selbstverpflichtung an das UBA gemeldet.

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch die Verbände. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Der gesamte Sektor der F-Gas Emissionen wurde im Jahr 2011 einer freiwilligen trilateralen Überprüfung unterzogen. Experten aus England, Deutschland und Österreich überprüften die F-Gas Inventare der anderen Länder. Das Ziel der Überprüfung war der Informationsaustausch über die länderspezifischen Methoden der Erstellung der F-Gas Inventare, ein Einblick in die institutionellen und rechtlichen Regelungen für die F-Gas Inventare in jedem Land, die Identifizierung der Hindernisse zur Erstellung von vollständigen und exakten Inventaren und die Diskussion der Unterschiede und Ähnlichkeiten in den Methoden, die zur Erstellung der F-Gas Inventare verwendet werden. Das Treffen hat allen drei Ländern geholfen, die verwendeten Methoden zur Emissionsberechnung zu überprüfen. Weiterhin konnten die Transparenz, die Vollständigkeit und die Genauigkeit der Inventare bewertet werden. Das positive Ergebnis war, dass Deutschland ein gutes F-Gase-Inventar hat. Im Ergebnis wurden keine Empfehlungen für Verbesserungen des deutschen F-Gase-Inventars ausgesprochen.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den von den Verbänden gemeldeten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

4.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.1)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.8.2 SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2)

Diese Kategorie umfasst die Anwendungen *Militär-AWACs* (2.G.2.a), *Teilchenbeschleuniger* (2.G.2.b), *Isolierglasfenster* (2.G.2.c), *Adiabatisches Verhalten: Autoreifen* und *Sportschuhe* (2.G.2.d), Sonstige: *Spurengas, Schweißen, Optische Glasfasern,* sowie *medizinische und kosmetische Anwendungen* (2.G.2.e).

4.8.2.1 Militär - AWACS Wartung (2.G.2.a)

4.8.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2a)

SF_6 wird in den großen militärischen Aufklärungsflugzeugen vom Typ Boing E-3A (ehemals AWACS) als Isolationsmedium für das Radar eingesetzt. Es soll elektrische Überschläge in den Hohlleitern zur Antenne verhindern, in denen hohe Spannungen von über 135 kV herrschen. Die laufenden Emissionen sind relativ hoch, da bei Aufstieg des Flugzeugs SF_6 zum Druckausgleich abgelassen wird.

4.8.2.1.2 Methodische Aspekte (2.G.2.a)

Die Emissionsangaben für die Berichtsjahre bis 2001 basieren auf Schätzungen, die als Grundlage eine Erhebung im Jahr 1996 haben. Daher sind die Emissionsdaten der Jahre 1997 bis 2001 ungenauer als in den Folgejahren. Für das Berichtsjahr 2002 wurden die Verbrauchsmengen neu erhoben, was zu einer signifikanten Erhöhung gegenüber dem Berichtsjahr 2001 führte. Ab dem Berichtsjahr 2006 werden die verwendeten Mengen vom Statistischen Bundesamt (UStatG, 2005) erhoben.

Für die SF_6-Emissionen der AWACS wird ein Emissionsfaktor von 100 % des Verbrauches angenommen.

Die Emissionen sanken bis 2016. Seitdem steigen sie wieder leicht. Daten zur AWACS-Wartung werden unter CRF 2.H.3 berichtet, da diese Daten der Vertraulichkeit unterliegen.

4.8.2.2 Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b)

4.8.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.b)

Das Isolatorgas SF_6 wird zum Personenschutz und zum Schutz von Geräteteilen (Schutz vor Durchbrennen von Widerständen im Gerät) eingesetzt. Seine Funktion besteht darin, Hochspannungsteile durch die Umhüllung mit Gas zu isolieren (Schutz vor Spannungs-Überschlägen zwischen den Hochspannungsteilen und der Gerätewand).

Diese Schutzfunktion kann u.U. auch durch andere Gase (z.B. Stickstoff, Stickstoff/CO_2-Mischung), durch räumlichen Abstand (Luftisolation) oder z.B. durch Umgebung mit Betonwänden realisiert werden. Ob bei den Geräten SF_6 als Isolatorgas eingesetzt wird (allein oder als Beimischung) hängt von technischen Gegebenheiten, Konstruktion und Spannungshöhe ab. Daher benötigen die Anlagen, sofern sie nicht standardisiert sind, unterschiedliche Mengen an SF_6. Die SF_6-Füllmenge ist deshalb auch nicht von der Anlagengröße (etwa gemessen in MV) abhängig, sondern variiert je nach Geräteaufbau.

SF_6-isolierteTeilchenbeschleuniger werden in unterschiedlicher Größe, Bauart und Funktion genutzt. Hochspannungsgeräte (0,3 bis über 23 MV) werden an Hochschulinstituten, Forschungsgemeinschaften und in der Industrie eingesetzt. Bei diesen Hochspannungsgeräten befinden sich Beschleuniger und Hochspannungsquelle (Van-de-Graaff-Generatoren oder kompaktere Hochspannungsgeneratoren mit Dioden in Kaskadentechnik) in einem mit SF_6 oder SF_6-Beimischung isolierten Tank, der ggfs. unter Druck steht. Zur Einstellung der Geräte und zu Reparaturzwecken muss der Tank geöffnet werden, wobei das Isolatorgas in Reservetanks umgepumpt wird. Hierbei sowie beim Anspringen von Überdruckventilen bei Beschleuniger-

und Reservetanks treten SF_6-Verluste auf. Die Forschungs-Beschleuniger, die unter variierenden Bedingungen gefahren werden, müssen häufiger geöffnet werden als die industriell genutzten Elektronenbeschleuniger.

In der Industrie kommen außerdem Niedrig-Energie-Geräte mit weniger als 0,3 MV zum Einsatz. Bei den Niederenergieanlagen ist die Eindringtiefe der Elektronen in das zu bearbeitende Material wesentlich geringer als bei den Hochenergieanlagen. "Elektronenstrahlwerkzeuge“ werden im industriellen Bereich beispielsweise zur Polymervernetzung, vornehmlich von Kabel- und Drahtisolationen eingesetzt. Die Niederenergieanlagen mit geringerer Beschleunigungs-spannung benötigen eine geringere Abschirmung (SF_6-Menge) als die Hochenergieanlagen.

Eine weitere Kategorie stellen Strahlentherapiegeräte in medizinischen Einrichtungen dar. Bei Krebsbehandlung durch Bestrahlung mit Elektronen bzw. Photonen werden industriell voreingestellte Teilchenbeschleuniger eingesetzt, bei denen der sog. Hohlleiter, in dem die Teilchen beschleunigt werden, zur Verhinderung von Spannungsüberschlägen mit SF_6 als Isolationsgas gefüllt ist. Vor 1996 wurden in diesen Geräten FCKW eingesetzt.

SF_6 dient ferner als Isolatorgas bei großen Elektronenmikroskopen (>100 kV Beschleuniger-spannung) und Elektronenstrahlschreibern, die als „sonstige Geräte“ zusammengefasst werden und erstmals für 2010 erfasst wurden.

Insgesamt gilt: Der SF_6-Verbrauch bei Erst- bzw. Neubefüllung der Geräte und beim Emissionsersatz ist von der Größe der Geräte, den Druckverhältnissen sowie den Betriebs-bedingungen abhängig.

4.8.2.2.2 Methodische Aspekte (2.G.2.b)

Anfang 2004 führte Öko-Recherche für das Umweltbundesamt eine Totalerhebung zu inländischen Teilchenbeschleunigern durch, um die teilweise bis auf 1996 zurückreichenden Daten zu aktualisieren. Dabei wurden sowohl Anwender als auch Hersteller befragt. Inhalt der Fragen waren sowohl die SF_6-Mengen in ihren Geräten als auch die SF_6-Nachfüllungen während der letzten sieben Jahre.

Das ZSE übernimmt die Gliederung dieser Erhebung und enthält für alle fünf Kategorien den jährlichen SF_6-Bestand und den jährlichen Ersatz für Emissionen. Letztere schließen außer den laufenden auch die Befüll- und Entsorgungsverluste ein.

Für das Berichtsjahr 2011 wurde nochmals eine Totalerhebung durchgeführt. Erstmals wurden Daten für Elektronenmikroskope gesammelt (Winfried Schwarz et al., 2012). Es war nur eine geringe Gerätezu- und abnahme je nach Anwendung zu beobachten. Es werden daher konstante Verwendungsmengen angenommen. Eine Ausnahme bildet die Strahlentherapie. Hier sind leicht ansteigende Verwendungsmengen zu beobachten.

Tabelle 209: SF_6-Bestand in Teilchenbeschleunigern in 5 Anwendungssektoren ab 1995, in t

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2020
(1) Universitäts- Institute	30,571	28,067	28,317	32,090	32,090	32,090
(2) Forschungs-Einrichtungen	19,555	19,305	19,555	13,531	13,531	13,531
(3) Industrie (Hochspannung)	13,750	24,422	24,422	26,575	26,575	26,575
(4) Industrie (Niederspannung)	1,600	1,600	1,600	1,425	1,425	1,425
(5) Strahlentherapie Einrichtungen	0,156	0,173	0,157	0,106	0,118	0,133
Gesamt (1-5)	**65,632**	**73,817**	**73,801**	**73,727**	**73,739**	**73,755**

Die Nachfüllmengen als Indikatoren der laufenden Emissionen betragen bei den meist großvolumigen Teilchenbeschleunigern zu Forschungs- und industriellen Zwecken (erste drei Nutzerkategorien) 4,1-4,5 t jährlich in den Jahren von 1995 bis 2003. Die laufenden Emissionen sind im Jahr 2010 deutlich geringer. Dieser Rückgang ist ausgeprägter als der Rückgang der Füllvolumina.

Tabelle 210: SF_6-Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in t

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2020
(1) Universitäts-Institute	1,853	1,508	1,558	1,582	1,582	1,582
(2) Forschungs-Einrichtungen	1,259	1,246	1,196	0,886	0,886	0,886
(3) Industrie (Hochspannung)	0,958	1,722	1,710	1,155	1,155	1,155
(4) Industrie (Niederspannung)	0,020	0,020	0,020	0,017	0,017	0,017
(5) Strahlentherapie Einrichtungen	0,345	0,384	0,395	0,491	0,503	0,519
Gesamt	**4,435**	**4,880**	**4,879**	**4,131**	**4,143**	**4,159**

Das SF_6 wird bei Öffnung der Tanks der großvolumigen Hochspannungsgeräte umgepumpt und danach rückgeführt. Dies kann mit beträchtlichen Gasverlusten verbunden sein. Die gemeldeten Nachfüllungen schließen außerdem den Ausgleich von Emissionen durch Havariefälle ein. Daraus ergeben sich die Schwankungen in den Emissionsfaktoren in den Zeilen 1-3 (Tabelle 211).

Tabelle 211: SF_6-Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern in fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in % des SF_6-Bestands

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2020
(1) Universitäts-Institute	6,1	5,4	5,5	4,9	4,9	4,9
(2) Forschungs-Einrichtungen	6,4	6,2	6,2	6,5	6,5	6,5
(3) Industrie (Hochspannung)	7,0	7,1	7,0	4,3	4,3	4,3
(4) Industrie (Niederspannung)	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
(5) Strahlentherapie Einrichtungen	222	222	252	463	426	387

Bei den kleinvolumigen Niederspannungs-Anlagen in der Industrie lagen die Emissionsraten nach Herstellerangaben in den Jahren 1995-2003 bei 1,3%. 2010 lag dieser Wert nach Herstellerangaben bei 1,2 %, hat sich also kaum verändert.

Die Strahlentherapiegeräte in medizinischen Einrichtungen hatten in den Jahren von 1995 bis 2003 jährliche Emissionsraten von 220 – 250 %. Der hohe Nachfüllbedarf ergibt sich daraus, dass diese Geräte im Durchschnitt zwei bis vier Mal jährlich im Zuge der vom Hersteller durchgeführten Wartung und Reparatur geöffnet werden, wobei das Isoliergas entweicht. Es wird vom Servicepersonal regelmäßig bei Wartung und Reparatur nachgefüllt. Die Emissionsraten (jährlicher Verlust pro Gerät) unterscheiden sich bei den drei Herstellern um den Faktor 10. Je geringer das Füllvolumen, desto größer der Nachfüllbedarf und damit die Emissionsrate. Bei zwei der drei Hersteller ist die Nachfüllrate pro Gerät zwischen 2003 und 2010 konstant geblieben, bei einem hat sie sich deutlich vermindert. Da sich der Anteil der kleinen und hochemissiven Geräte am Gesamtbestand deutlich vergrößert hat, ist auch die Gesamtverlustrate bei den Strahlentherapiegeräten zwischen 2003 und 2010 deutlich angestiegen, von ca. 250 % auf ca. 460 %. Ein Hersteller von Strahlentherapiegeräten berichtet über die Einführung eines Servicetools zur Wiederverwertung von SF_6 bei seinen Gerätetypen seit 2006 (Abpumpen des SF_6, Zwischenlagerung und Wiederbefüllung). Dies habe zu einer deutlichen Reduzierung des SF_6-Verbrauchs geführt. Der Emissionsfaktor sinkt kontinuierlich.

4.8.2.3 Isolierglasfenster (2.G.2.c)

4.8.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.c)

SF_6 wird seit 1975 zur Erhöhung der Schalldämmung bei Mehrscheiben-Isolierglas in den Scheibenzwischenraum gefüllt. Nachteilig bei der Anwendung sind die schlechtere Wärmedämmleistung und das hohe Treibhauspotenzial von SF_6 Die Verschiebung der Priorität in Richtung Wärmeschutz, z. B. durch die Wärmeschutzverordnung und ein Bedeutungszuwachs SF_6-freier Scheibentechnologien hat dazu geführt, dass der Einsatz von SF_6 in dieser Anwendung seit Mitte der 1990er Jahre zurückgeht.

Schallschutzscheiben wurden in Deutschland in zahlreichen Betrieben hergestellt und mit Gas befüllt. Der Export fertiger Scheiben spielt keine nennenswerte Rolle.

Seit dem 4. Juli 2007 gilt in der EU ein Verbot für das Inverkehrbringen von Fenstern für Wohnhäuser, die mit fluorierten Treibhausgasen befüllt wurden. Ab dem 4. Juli 2008 gilt dieses Verbot auch für sonstige Fenster. Heutige und künftige Emissionen dieser Kategorie stammen daher vorwiegend aus der offenen Entsorgung alter Fensterscheiben, die im Mittel 25 Jahre nach der Befüllung angenommen wird. Aus diesem Grund werden die Gesamtemissionen bis zum Jahr 2020 weiter zunehmen.

4.8.2.3.2 Methodische Aspekte (2.G.2.c)

Emissionen treten bei der Befüllung der Scheibenzwischenräume durch Überfüllung, (Herstellungsemissionen), während des Gebrauchs (Anwendungsemissionen) und bei der Entsorgung (Entsorgungsemissionen) auf. Die Emissionen werden analog den Gleichungen 3.24 – 3.26 der IPCC-GPG (Penman et al., 2000) mittels des Inlandsneuverbrauchs, des mittleren Jahresbestands und des Restbestands vor 25 Jahren berechnet.

Die Zeitreihen für Schallschutzfenster beginnen im Jahr 1975, da für die Bestandsemissionen des Jahres 1995 die Befüllungsmengen des Jahres 1975 von Bedeutung sind. Diese mit Branchenexperten 1996 rekonstruierten Daten wurden erstmals im Jahr 2004 veröffentlicht.

Emissionsfaktoren

Vom SF_6-Verbrauch entweicht laut Expertenangaben von Scheiben- und Gasfüllgeräteherstellern, Branchenexperten und eines wissenschaftlichen Instituts bei der Befüllung des Scheibenzwischenraums ein Drittel. $EF_{Herstellung}$ ist daher 33 % bezogen auf den Jahres-Neuverbrauch.

Dieser Emissionsfaktor kommt folgendermaßen zustande: Sowohl bei Handgeräten als auch bei automatischen Gasfüllpressen sind Verwirbelungen im Innenraum unvermeidlich, so dass nicht nur Restluft, sondern auch ein Luft-SF_6-Gemisch austritt, und zwar umso mehr davon, je weiter fortgeschritten der Befüllungsvorgang ist. Der Gasverlust, die sog. Überfüllung, reicht von 20 bis 60 % der Einfüllmenge. Relativ ist er umso größer, je kleiner die Scheibe ist. Im Durchschnitt, d.h. über das gesamte Spektrum der befüllten Scheibenformate, beträgt die Überfüllung 50 % auf die tatsächlich im Scheibenzwischenraum verbleibende Menge. Das entspricht einem Drittel (33 %) der jeweiligen Verbrauchsmenge. Der Emissionsfaktor wird unverändert weiter genutzt, da sich die Befüllungstechnik oder auch das geometrische Spektrum der Scheiben nicht verändert hat.

Eine DIN-Norm (DIN EN 1279-3, DIN 2003) schreibt 10 Promille jährlichen Verlust der Gasfüllung durch die Randabdichtung der Scheibe als Obergrenze vor. Dieser Wert bezieht auch Gasverlust infolge von Glasbruch bei Transport, Einbau und Nutzung sowie der mit dem Alter zunehmenden Undichtheit des Randverbunds mit ein. Daraus resultiert ein Emissionsfaktor $EF_{Anwendung}$ von 1 % bezogen auf den seit 1975 akkumulierten SF_6-Bestand, der im Durchschnitt des Jahres n besteht.

Entsorgungsverluste fallen am Ende der Nutzungsphase der Scheiben an, durchschnittlich 25 Jahre nach der Befüllung. Darum sind erst ab dem Jahr 2000 Abgänge durch Entsorgung bei den Emissionen zu berücksichtigen.

Da die Scheiben in jedem Jahr 1 % Gas vom Vorjahreswert verlieren, wird bei der Entsorgung nur ein Teil der ursprünglichen Füllung emittiert. Da aber keine Rückgewinnung stattfindet, erfolgt eine 100 %ige Emission ($EF_{Entsorgung}$ = 1).

Aktivitätsdaten

Der Jahres-Neuverbrauch wurde mittels top-down-Erhebung gewonnen (Inlandsabsatz des Gasehandels).

Seit dem Berichtsjahr 2006 wird der Neuverbrauch vom Statistischen Bundesamt durch Abfrage der SF_6-Verkaufszahlen des Gasehandels (UStatG, 2005) ermittelt.

4.8.2.4 Adiabatisch - Autoreifen (2.G.2.d)

4.8.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d)

Autoreifen wurden aus Imagegründen (die verbesserte Druckkonstanz ist nicht praxisrelevant) ab 1984 mit SF_6 befüllt. Der größte Verbrauch lag im Jahr 1995. Hier bestand bei über 500 der rund 3500 Verkaufsstellen des deutschen Reifenfachhandels die Möglichkeit, die Reifen mit SF_6-Gas zu befüllen. Wegen des großen Treibhauspotenzials von SF_6 stiegen viele Reifenhändler auf Stickstoff als Befüllungsalternative um, was zu einem deutlichen Rückgang geführt hat. Seit dem 4. Juli 2007 gilt in der EU ein Verbot für das Inverkehrbringen von neuen Autoreifen, die mit fluorierten Treibhausgasen befüllt wurden. Es finden keine Emissionen mehr statt.

4.8.2.4.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d)

Gasemissionen während der Reifenlaufzeit werden zur Vereinfachung nicht berücksichtigt, so dass nur Emissionen bei der Reifendemontage auftreten. Bei einer kalkulierten Laufzeit von ca. 3 Jahren folgen die Emissionen dem inländischen Verbrauch zur Befüllung, da es keinen Außenhandel mit befüllten Reifen gibt, dreijährig Zeit versetzt (Winfried Schwarz, 1996). Zur Berechnung der Emissionen wird die Gleichung 8.19 der 2006 IPCC-Guidelines (Vol. 3) angewendet.

Emissionsfaktoren

Die sehr geringen Verluste bei der Reifenbefüllung werden nicht berücksichtigt. Da SF_6 bei der Reifendemontage vollständig entweicht, gilt $EF_{Entsorgung} = 1$.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen wurden durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gaslieferanten an Reifenhändler und Kfz-Werkstätten durch das Statistische Bundesamt (UStatG, 2005) ermittelt.

4.8.2.5 Adiabatisches Verhalten - Sportschuhe (2.G.2.d)

4.8.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d)

Der Einsatz von SF_6 erfolgte in den Sohlen von Sportschuhen zur Verbesserung der Dämpfung; das letzte Mal europaweit im Jahr 2003. Ab 2004 wurde FKW-218 (C_3F_8) eingesetzt, letztmals im Jahr 2006. Heute wird größtenteils Stickstoff verwendet. Das Inverkehrbringen von mit fluorierten Treibhausgasen hergestellter Fußbekleidung in die EU ist seit dem 4. Juli 2006 verboten. Es finden keine Emissionen mehr statt.

4.8.2.5.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d)

Die Berechnung der Emissionen erfolgte über Gleichung 8.9 der IPCC-Guidelines (2006). Fertigungsemissionen fielen nur im Ausland an, laufende Emissionen wurden nicht ermittelt. Wegen der Vertraulichkeitszusage werden die Daten zu Sportschuhsohlen unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Emissionen bei der Produktion wurden von den Herstellern nicht berichtet.

Während der Anwendung wird keine Emission angenommen.

Bei der Entsorgung können die Emissionen den eingesetzten Mengen gleichgesetzt werden ($EF_{Entsorgung}$ = 1), wobei analog zur IPCC-Methode bei Autoreifen eine Zeitverzögerung von drei Jahren angenommen wird (IPCC (2006b): Vol. 3, Gleichung 8.19).

Aktivitätsdaten

Die Füllmengen beruhen auf europaweiten Verkaufszahlen der Hersteller. Diese Angaben werden auf Deutschland über die Bevölkerungszahl als Kriterium herunter gerechnet. Die Daten liegen dem Umweltbundesamt seit dem Berichtsjahr 2001 vor, werden aber aus Gründen der Vertraulichkeit nur in aggregierter Form unter CRF 2.H.3 berichtet.

4.8.2.6 Sonstige: Spurengas (2.G.2.e)

4.8.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

Als stabiles und auch in extrem geringer Konzentration gut nachweisbares Spurengas wird SF_6 von Forschungseinrichtungen für die Untersuchung bodennaher und atmosphärischer Luftströmungen und Gasausbreitungen sowie von Wasserströmungen eingesetzt. Außerdem dient es zur Prüfung von Laborabzügen.

Ab dem Berichtsjahr 2007 wurde SF_6 als Spurengas gegenüber den Vorjahren deutlich weniger eingesetzt.

4.8.2.6.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Die verwendeten Mengen wurden von Experten geschätzt.

Emissionsfaktoren

Es wird von einer offenen Anwendung ausgegangen, d.h. der jährliche Neueinsatz emittiert vollständig im selben Jahr und wird als Verbrauch zur Fertigung ($EF_{Herstellung}$ = 1) betrachtet. Eine Rückgewinnung erfolgt nicht.

Aktivitätsdaten

Die Einschätzung des inländischen Gesamteinsatzes erfolgte 1996 durch die Experten aller Forschungseinrichtungen und dann jeweils im Abstand von 3 Jahren durch einen Experten. Die Einschätzungen zeigten nur geringe Variationen der Einsatzmengen. Die SF_6-Verwendungsmengen für die Jahre 2007 bis 2015 wurden 2017 nach oben korrigiert, da die Verwendung zur Prüfung von Laborabzügen in das deutsche Inventar aufgenommen wurde.

4.8.2.7 Sonstige: Schweißen (2.G.2.e)

4.8.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

Nach Angaben von Gaslieferanten begann die Verwendung von SF_6 beim Schweißen im Jahr 2001. SF_6 wird als Schutzgas beim Schweißen von Metall eingesetzt. Da es nur einen Anwender in Deutschland gibt, unterliegen die Daten der Vertraulichkeit.

4.8.2.7.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Es fallen nur Emissionen während der Anwendung an. Wegen der Datenvertraulichkeit werden Verbrauch und Emissionen beim Schweißen unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Es stehen keine verlässlichen Daten über den Zerfall von SF_6 während der Anwendung zur Verfügung. Nach Expertenschätzung emittiert die eingesetzte SF_6–Menge bei der Anwendung

vollständig in die Atmosphäre. Daher werden Verbrauch und Emissionen beim Schweißen gleichgesetzt. Für den Emissionsfaktor beim Schweißen gilt $EF_{Anwendung} = 1$.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen werden durch Abfrage bei der Firma erfragt, die SF_6 zum Schweißen verwendet.

4.8.2.8 Sonstige: Optische Glasfasern (2.G.2.e)

4.8.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

Die Verwendung von SF_6 bei der Herstellung optischer Glasfasern begann im Jahr 2002. SF_6 wird bei der Herstellung spezieller optischer Glasfaserkabel zur Fluordotierung eingesetzt. Es gibt in Deutschland nur wenige Produktionsbetriebe.

4.8.2.8.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Wegen der Datenvertraulichkeit des Emissionsfaktors werden die Emissionen bei der Herstellung optischer Glasfasern vertraulich unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3) enthalten keine Informationen über die Verwendung von SF_6 bei der Produktion optischer Glasfasern. Experten schätzten den Emissionsfaktor bisher auf 70 % ($EF_{Herstellung} = 0,7$). Messungen ergaben aber einen deutlich geringeren Emissionsfaktor. Dieser wurde daher deutlich herabgesetzt, unterliegt aber der Vertraulichkeit. Die Zeitreihe der Emissionen wurde 2018 rückwirkend für alle Jahrgänge rekalkuliert.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen werden durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gaslieferanten durch das Statistische Bundesamt (UStatG UStatG, 2005) erhoben. Sie steigen seit 2001 mit leichten Schwankungen stetig an.

4.8.2.9 Sonstige: Medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e)

4.8.2.9.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

In Deutschland werden fluorierte Treibhausgase nicht nur in medizinischen Dosieraerosolen (Quellgruppe 2.F.4) eingesetzt, sondern auch in verschiedenen medizinischen bzw. kosmetischen Anwendungen.

Perfluordecalin ($C_{10}F_{18}$, FKW-9-1-18) wird seit dem Jahr 2000 als Reinstoff in der Augenheilkunde und in der Forschung verwendet. In der Augenheilkunde wird Perfluordecalin in der Netzhautchirurgie innerhalb des Auges angewendet, insbesondere bei Netzhautablösungen, Netzhautrissen, Glaskörperproliferationen etc. In deutlich geringeren Mengen kommt Perfluordecalin in der Forschung zur Organkonservierung während Transplantationen, als Kontrastmittel in diagnostischen Abbildungstechniken (Magnetresonanztomographie, Ultraschall) und als Sauerstoffträger bei der Zellkultivierung zum Einsatz.

Perfluordecalin wird seit dem Jahr 2012 auch als Inhaltsstoff in Kosmetikprodukten (Hautpflege, Nagelpflege), in denen es als Träger- bzw. Speichermedium für Sauerstoff genutzt wird, verwendet. Die Einsatzkonzentration von Perfluordecalin in diesen Produkten beträgt laut Herstellerangaben 0,1 %.

Hydrofluorether (HFE) sind in Deutschland die Standard-Narkosegase für inhalative Anästhesien und werden bei etwa 9 Millionen Operationen jährlich eingesetzt. Der hydrofluorchlorierte Ether Isofluran (HCFE-235da2, CHF_2-O-CHCl-CF_3) kommt bereits seit dem Jahr 1985 zum Einsatz. Desfluran (HFE-236ea2, CHF_2-O-CHF-CF_3) und Sevofluran (HFE-347mmz1, CH_2F-O-$CH(CF_3)_2$ sind seit 1995 in Gebrauch und haben gegenwärtig einen Marktanteil von zusammen etwa 90 %. Die Hydrofluorether werden bei der Anwendung mit speziellen Vorrichtungen verdampft und in Konzentrationen von 1 % bis 6 % in einem Trägergas, das aus Sauerstoff und Lachgas (N_2O) besteht, verabreicht. Pro Operation werden durchschnittlich 8,2 g Isofluran, 32,6 g Desfluran bzw. 11,4 g Sevofluran eingesetzt. Die Verwendungsmengen der bei den Operationen verwendeten Hydrofluorether sind unterschiedlich, da die Konzentrationen der Narkosegase in der zugeführten Atemluft bzw. dem Trägergas stark differieren, um ihre Wirksamkeit zu gewährleisten.

Medizinische und kosmetische Anwendungen von FKW werden entsprechend des Vorschlags der 2006 IPCC Guidelines in der Quellgruppe 2.G.2 eingeordnet.

4.8.2.9.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Perfluordecalin emittiert vollständig bei der Anwendung als Reinstoff in der Augenheilkunde und in der Forschung. Das in Kosmetikprodukten enthaltene Perfluordecalin emittiert ebenfalls vollständig während der Anwendung ($EF_{Anwendung} = 1$).

Die als Inhalationsnarkotika verwendeten Hydrofluorether werden während der Operationen gesammelt und zentral in die Atmosphäre abgeleitet. Die verschiedenen Hydrofluorether werden bei den Operationen jedoch nicht unverändert wieder ausgeatmet, sondern teilweise und in unterschiedlichem Maße im Organismus metabolisiert. Die gasspezifischen Emissionsfaktoren haben jeweils Werte von 100 % abzüglich der Metabolisierungsrate.

Herstellungsemissionen bei medizinischen bzw. kosmetischen Anwendungen treten nicht auf, da keine Produkte in Deutschland produziert werden.

Anwendungsemissionen werden über die als Bulkware und in Kosmetikprodukten verkauften Mengen an Perfluordecalin mit Gleichung 2 berechnet. Dabei wird entgegen der in den 2006 IPCC Guidelines vorgeschlagenen Methode zur Berechnung der „prompten Emissionen“ (Gleichung 8.23) davon ausgegangen, dass die in einem Jahr verkauften Mengen vollständig im gleichen Jahr emittieren und nicht die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des vorherigen Jahres und des aktuellen Jahres. Diese Vorgehensweise ist vertretbar, da die Zeitspanne zwischen Verkauf und Anwendung sehr kurz ist.

Anwendungsemissionen von den als Narkosegasen eingesetzten Hydrofluorethern errechnen sich mit Gleichung 2 über die in Deutschland verwendeten Mengen. Die 2006 IPCC Guidelines machen keine Vorgaben zur Berechnung der Emissionen.

Da Perfluordecalin und die Hydrofluorether bereits vollständig bei ihrer Anwendung emittieren, müssen keine Entsorgungsemissionen berichtet werden.

Wegen der Datenvertraulichkeit werden Verbrauch und Emissionen von Perfluordecalin unter CRF 2.H.3 berichtet.

Die Emissionen der nicht berichtspflichtigen Hydrofluorether werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen und sind in Tabelle 207 wiedergegeben.

Der $EF_{Anwendung}$ beträgt für alle medizinischen und kosmetischen Anwendungen von Perfluordecalin 100 %.

Bei den als Inhalationsnarkotika verwendeten Hydrofluorethern beträgt der $EF_{Anwendung}$ für Isofluran und Desfluran 99,8 %, für Sevofluran 95 %.

In Übereinstimmung mit den IPCC Vorgaben (2006 IPCC Guidelines, Seite 8.32) wird von einer 100 %igen Emission bei der Anwendung von Perfluordecalin ausgegangen ($EF_{Anwendung}$ = 100 %). In Deutschland wird abweichend von den Guidelines nur eine einjährige Lebensdauer zugrunde gelegt.

Für die Verwendung von Hydrofluorethern als Inhalationsnarkotika gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Importe von $C_{10}F_{18}$ nach Deutschland für die Anwendung in der Augenheilkunde und der Forschung wurden vom Hersteller F2 Chemicals, UK, vertraulich zur Verfügung gestellt.

Die nach Deutschland importierten Mengen $C_{10}F_{18}$-haltiger Kosmetikprodukte wurden vom Handelsunternehmen P2 cosmetics, das diese Produkte in Deutschland vertreibt, vertraulich zur Verfügung gestellt.

Die Verwendungsmengen der als Inhalationsnarkotika eingesetzten Hydrofluorether wurden durch Befragungen von Branchenexperten (Kliniken, Hersteller von Narkosehilfsgeräten) und Literaturangaben im Rahmen eines Forschungsvorhabens ermittelt (Gschrey et al., 2015).

4.8.2.10 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.2 alle)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Quellgruppe ist erfolgt.

Bei Isolierglasfenstern erfolgte seit 2006 ein Datenabgleich des Jahres-Neuverbrauchs der top-down-Erhebung auf Basis von kommerziellen Verkaufsdaten mit den vom Statistischen Bundesamt jährlich durchgeführten Erhebungen (UStatG, 2005). Dadurch konnte die Datensicherheit erhöht werden und ist als verlässlich und vollständig zu bewerten. Der $EF_{Herstellung}$ kann angesichts der Vielfalt der Einflussfaktoren nicht verbindlich gemessen werden. Die Schätzung der 1996 und 1999 befragten zehn Branchenexperten (aus Kreisen der Scheibenhersteller, Füllgerätelieferanten und eines wissenschaftlichen Instituts) lässt den Schluss zu, dass sich der mittlere Befüllungsverlust zwischen 30 % und 40 % bewegt. 1 % laufende Gasverluste werden als realistisch angesehen.

Bei Sportschuhen ist trotz der guten Datenqualität für die EU die Verteilung der Füllmengen auf die Mitgliedstaaten mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Bei medizinischen Anwendungen wird die Datenqualität der Verwendungsmenge von Perfluordecalin als gut bewertet, da die Zahlen direkt vom Hersteller (F2 Chemicals Ltd, UK) stammen, der als einziger Anbieter Perfluordecalin nach Deutschland exportiert. Die Unsicherheiten bei den kosmetischen Produkten sind höher, da der Kosmetikmarkt in Deutschland sehr dynamisch ist und nicht auf Statistiken zurückgegriffen werden kann.

4.8.2.11 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.2 alle)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie bereits für die meisten Vorjahre, im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes durch einen externen Experten erhoben bzw. stammen aus der Datenerhebung des Statistischen Bundesamtes (UStatG, 2005).

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch den externen Experten bzw. das Statistische Bundesamt. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Der gesamte Sektor der F-Gas Emissionen wurde im Jahr 2011 einer freiwilligen trilateralen Überprüfung unterzogen. Experten aus England, Deutschland und Österreich überprüften die F-Gas Inventare der anderen Länder. Das Ziel der Überprüfung war der Informationsaustausch über die länderspezifischen Methoden der Erstellung der F-Gas Inventare, ein Einblick in die institutionellen und rechtlichen Regelungen für die F-Gas Inventare in jedem Land, die Identifizierung der Hindernisse zur Erstellung von vollständigen und exakten Inventaren und die Diskussion der Unterschiede und Ähnlichkeiten in den Methoden, die zur Erstellung der F-Gas Inventare verwendet werden. Das Treffen hat allen drei Ländern geholfen, die verwendeten Methoden zur Emissionsberechnung zu überprüfen. Weiterhin konnten die Transparenz, die Vollständigkeit und die Genauigkeit der Inventare bewertet werden. Das positive Ergebnis war, dass Deutschland ein gutes F-Gase-Inventar hat. Im Ergebnis wurden keine Empfehlungen für Verbesserungen des deutschen F-Gase-Inventars ausgesprochen.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt, den vom Forschungsnehmer erhobenen und den von Firmen gemeldeten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren entsprechen den Default-Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines oder liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

Bei medizinischen und kosmetischen Anwendungen (Subquellgruppe 2.G.2.e) ist keine Verifizierung der Methodik oder Daten möglich, da außer Deutschland kein Land Emissionen in diesem Bereich berichtet.

4.8.2.12 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.2 alle)

Die Werte des Inlandsverbrauchs der als Narkosegase eingesetzten Hydrofluorether werden auf Basis der national durchgeführten Operationen an Menschen ermittelt. Eine Rekalkulation ist jährlich erforderlich, da die entsprechende nationale Statistik erst nach Abschluss der Inventarermittlung vorliegt. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Anwendung für das Vorjahr. Da die Hydrofluorether zu den freiwillig berichteten Stoffen zählen, wird auf eine Quantifizierung verzichtet.

4.8.2.13 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.2 alle)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.8.3 Verwendung von N_2O (2.G.3)

4.8.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.3)

Der deutsche Lachgasmarkt wird von Air Liquide, Linde AG und Westfalen AG dominiert, die sowohl als Hauptthersteller als auch Importeur auftreten. Bei der Lachgasherstellung und dessen Abfüllung in Gasflaschen entstehen keine Lachgasemissionen. Diese treten lediglich bei dessen Anwendung auf: Als N_2O-Quelle ist hier vor allem der Einsatz in der Medizin von Bedeutung. Weitere Emissionsquellen sind der Einsatz von Lachgas als Treibmittel in Sprühsahnedosen und der Einsatz in der Halbleiterindustrie. Auch bei Sprengungen wird N_2O in geringen Mengen freigesetzt. Die Lachgas-Emissionen der Anästhesie sind als dominierende Emissionsquelle seit 1990 stark rückläufig, da statt Lachgas zunehmend intravenöse Betäubungen angewandt werden. Dieser Trend wird sich auch in Zukunft fortsetzen.

Medizin - Anästhesie

In der Medizin wird Lachgas als analgetisch wirkendes Gas zu Narkosezwecken genutzt. Bei der Anwendung wird Lachgas mit reinem Sauerstoff gemischt, um eine wirkungsvolle Gasmischung von 70 % Lachgas und 30 % Sauerstoff zu erhalten. In der modernen Anästhesie wird die Wirkung des Lachgases durch Zugabe von anderen Narkosemitteln verbessert. Bislang ist der Einsatz von N_2O in diesem Bereich nicht verboten, jedoch gibt es starke Bestrebungen in der deutschen Medizin gegen dessen allgemeine Verwendung. Der Einsatz von Lachgas in der Medizin geht deshalb seit 1990 kontinuierlich zurück.

Lebensmittelindustrie - Sprühsahnedosen

Lachgas wird in der Lebensmittelindustrie als Zusatzstoff mit dem Namen E 942 verwendet. Treibgase pressen Lebensmittel unter Druck aus ihren Behältern. Je nach Art des Lebensmittels kommt es dabei zur Aufschäumung oder zur Herstellung einer cremigen Konsistenz. So werden Sahne (aus Sprühdosen), Quark, und diverse Desserts wie zum Beispiel Fertigpuddings mit N_2O versetzt (Die Verbraucher Initiative e.V. (2005); Linde Gas (2017)),

Halbleiterherstellung

Für die Fertigungsschritte in der Halbleitertechnik werden eine Vielzahl von Chemikalien und Gasen verwendet. Argon, hochreiner Sauerstoff, Wasserstoff, hochreines Helium und Stickstoff bilden die Hauptmengen der eingesetzten Gase. Der Verbrauch der speziellen Prozessgase wie Distickstoffmonoxid, Ammoniak und Hexafluorethan ist vergleichsweise gering.

Sprengstoffe

Sprengstoffe können militärisch und gewerblich eingesetzt werden. Zivile bzw. gewerbliche Sprengstoffe finden im Bergbau, bei Baumaßnahmen in felsigen Gegenden, bei Abrissunternehmen, in der Geologie und bei Feuerwerken Verwendung.

Lachgasemissionen entstehen vorwiegend bei der Detonation von ammoniumnitrathaltigen Sprengstoffen wie dem ANFO (Ammoniumnitrat- / Fuel Oil) und den Emulsionssprengstoffen. Im Allgemeinen enthalten die gewerblichen/zivilen Sprengstoffe zu ca. 60 bis 80 % Ammoniumnitrat (AN). Dagegen enthält der ANFO-Sprengstoff Andex bis zu 94 % Ammoniumnitrat.

In Deutschland werden Sprengstoffe zur zivilen Nutzung von zwei Firmen hergestellt: Orica Mining (früher Dynamit Nobel) und Westpreng GmbH (Wasag Chemie).

Bei der Herstellung von Sprengstoff entstehen keine Lachgasemissionen, jedoch kann bei der thermischen Zersetzung von Sprengstoffen Lachgas gebildet werden. Die Ursache dafür ist, dass

Ammoniumnitrat (AN) beim thermischen Zerfall Distickstoffmonoxid (Lachgas) und Wasser bildet.

Bei vorsichtigem Erwärmen über die Schmelztemperatur läuft die Reaktion wie folgt ab:

$$NH_4NO_3 \longrightarrow N_2O + 2H_2O$$

Bei der schnellen, detonativen Umsetzung des AN-haltigen Sprengstoffes, verläuft die Reaktion jedoch wie folgt:

$$NH_4NO_3 \longrightarrow 2H_2O + N_2 + 0{,}5O_2$$

Dies bedeutet, dass bei hohem Druck und hoher Temperatur AN vorwiegend zu Stickstoff, Sauerstoff und Wasser reagiert. Nur eine geringe Konzentration an primär gebildetem N_2O bleibt beim Detonationsprozess erhalten. So enthalten z.B. die Detonationsschwaden von Amatolen[86] mit etwa 80 % an AN nur 0,1 Mol N_2O pro Mol Ammoniumnitrat. Aus diesem Betrag lässt sich eine theoretische maximale Lachgasbildung von etwa 68 g (dieser Wert wurde von einem Sprengstoffexperten mitgeteilt, der stöchiometrische Wert würde 44 g/Mol Amatol (80 %-AN) betragen) pro Kilogramm AN errechnen ((Ornellas, 1982); Volk (1986): Seite 74). Nach Aussage von Experten können Annahmen über die N_2O-Emissionen bezogen auf diesen AN-Gehalt für andere Sprengstoffe getroffen werden.

N_2O im Auto-Tuning

In der Antriebstechnik wird Lachgas zur Verbesserung des Verbrennungsprozesses in Benzinmotoren, der so genannten „Lachgas-Einspritzung", verwendet. Dabei wird das Lachgas in Stickstoff und Sauerstoff gespalten. Der Stickstoff kühlt den Verbrennungsprozess und der Sauerstoff erhöht die Verbrennungsleistung. Infolge dieser „Tuningmaßnahme" kann die Leistung des Motors kurzfristig gesteigert werden. Es gibt in Deutschland bisher eine Firma, die solche Tuning-Maßnahmen anbietet. Recherchen haben ergeben, dass die entsprechende Technik, die für ein solches Tuning genutzt wird, auf einen möglichst restlosen Verbrauch des Lachgases ohne nennenswerte Emissionen ausgelegt ist.

4.8.3.2 Methodische Aspekte (2.G.3)

Anästhesie

Die Menge an N_2O-Emissionen aus medizinischen Anwendungen für das Jahr 1990 basiert auf einer Extrapolation der statistischen Anlagenerhebung im Gebiet der ehemaligen DDR im Jahr 1990. Damals wurde festgestellt, dass dort eine Anlage zur Produktion von N_2O für Narkosezwecke existiert hat. Die Anlage war zum damaligen Zeitpunkt noch nicht lange in Betrieb (Errichtung im Jahr 1988). Die Produktionskapazität betrug etwa 1.200 t pro Jahr. Nach Recherchen fand kein Export bzw. Import dieses Stoffes statt, so dass von der vollständigen Anwendung im Land ausgegangen wurde. Über die hierdurch für die ehemalige DDR ermittelte Pro-Kopf-Emission wurde unter der Annahme gleicher Verhältnisse in grober Näherung für das Jahr 1990 eine N_2O-Emission von 6.200 t für Deutschland festgelegt. Die N_2O-Angabe für das Jahr 2001 stammt aus einer schriftlichen Mitteilung des Industriegaseverbands e.V. (IGV) aus dem Jahr 2002. Dieser Wert hatte eine Bandbreite von 3.000 ~ 3.500 t/a, woraufhin für die Zeitreihenentwicklung der N_2O-Emissionen der Mittelwert aus diesen Werten verwendet wurde (3.250 t/a).

Seit dem Jahr 2005 wird durch den Industriegaseverband eine Erhebung der N_2O-Absatzmengen aller Anwendungen in Deutschland durchgeführt. Diese Daten hat der IGV auch dem

[86] Amatol x/y : militärische Sprengstoffe. Gießbare Gemische, i.a. aus x % TNT und y % Ammoniumnitrat

Umweltbundesamt für die Berichterstattung zur Verfügung gestellt. 2010 hat der IGV mit dem Bundeswirtschaftsministerium eine Selbstverpflichtung abgeschlossen über die jährliche Bereitstellung der N_2O Absatzmengen für die Emissionsberichterstattung.

Die Datenlücken in der Anästhesie werden durch Interpolation und Extrapolation geschlossen.

Der Emissionsfaktor beträgt 100 %.

Sprühsahnedosen

Der Einsatz von N_2O in Sprühsahnedosen in Deutschland muss differenziert betrachtet werden. Es gibt in Deutschland einen Hersteller von Sprühsahnedosen, der diese auch in Deutschland befüllt. In den Emissionsberechnungen wird aufgrund der oben beschriebenen Recherchen angenommen, dass diese Firma einen Anteil von ca. 3 % an den Lachgas-Absatzmengen des Industriegaseverbandes hat. Der größere Anteil der Unternehmen aber lässt ihre Sprühsahnedosen im Ausland befüllen und importiert diese nach Deutschland. Die Absatzmengen dieser Firmen sind deshalb nicht in den Daten des Industriegaseverbandes enthalten. Der Milchindustrieverband hat in einer einmaligen Erhebung dem Umweltbundesamt mitgeteilt, dass 2008 50,2 Mio. Einheiten Sprühsahnedosen verkauft worden sind. Der Milchindustrieverband gab aber an, dass die Einheiten verschiedene Größen haben und eine differenzierte Angabe nach den Größen nicht möglich ist. Eine Internetrecherche hat ergeben, dass im deutschen Handel Druckpatronen mit 8g N_2O für 0.5l Sahnedosen und 16g N_2O für 1,0l Sahnedosen verkauft werden. Vergleichsrechnungen haben ergeben, dass vereinfacht mit 8g N_2O pro verkaufte Einheit gerechnet werden kann. Dies ergibt eine Einsatzmenge von 401,6 t N_2O für Sprühsahnedosen im Jahr 2008 in Deutschland. Da für die Jahre vor 2008 keine Daten vorliegen wird dieser Wert als konstant angenommen.

Der Emissionsfaktor für Sprühsahnedosen wird mit 100 % angenommen.

Halbleiterherstellung

Für die Jahre 1990, 1995, 2000, 2001 und 2008 hat der ZVEI eine einmalige Angabe über die Einsatzmengen (**Aktivitätsdaten**) von Lachgas gemacht. Zwischen diesen Werten wird interpoliert.

Für die Fertigungsschritte in der Halbleitertechnik werden eine Vielzahl von Chemikalien und Gasen verwendet. Argon, hochreiner Sauerstoff, Wasserstoff, hochreines Helium und Stickstoff bilden die Hauptmengen der eingesetzten Gase. Der Verbrauch der speziellen Prozessgase wie Distickstoffmonoxid und Ammoniak ist vergleichsweise gering und in den letzten Jahren annähernd konstant geblieben (AMD Saxony LLC&Co. KG, Dresden, Umweltbericht 2002/2003, (AMD, 2003): Seite 16).

Der **Emissionsfaktor** ist seit 2020 nicht mehr vertraulich. Da aber die N_2O Emissionen genutzt werden um die Emissionen der N-Dodecandisäure vertraulich zu halten, muss hier weiterhin auf eine Darstellung verzichtet werden.

In 2020 hat der ZVEI rückwirkend bis 2015 die Emissionsdaten gemeldet. Diese jährliche Meldung ist in eine Vereinbarung mit aufgenommen, damit ist die langfristige Verfügbarkeit der Emissionsdaten sicher gestellt.

Sprengstoffe

2003 wurden in Deutschland 59 kt Sprengstoff hergestellt. Davon wurden 13 kt ins Ausland exportiert und 5,8 kt nach Deutschland importiert[87]. Das ergibt eine in Deutschland verbrauchte Menge von 51,8 kt. Der Anteil von ANFO an der Gesamtmenge beträgt 60 %, der der

[87] Persönliche Mitteilung: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

Emulsionssprengstoffe 25 % und der der Dynamitsprengstoffe 15 %. ANFO-Sprengstoffe bestehen aus 94 % Ammoniumnitrat und 6 % Brennstoffen. Für Emulsionssprengstoffe beträgt dieses Verhältnis 80 % zu 20 % und für Dynamitsprengstoffe 50 % zu 50 %.

Derzeit wird Lachgas als Schwadenkomponente im Gegensatz zu NO und NO_2 nicht ermittelt.

In der Regel ist die Bildung von N_2O nur bei Sprengstoffen relevant, die Ammoniumnitrat (AN) enthalten. Allerdings liegen bei ANFO-Sprengstoffen keine genauen Analysen der Detonationsschwaden vor. Aus diesem Grund muss man davon ausgehen, dass bei der Detonation von ANFO eine ähnlich hohe Konzentration von N_2O gebildet wird bezogen auf den AN-Gehalt wie bei den Amatolen und Ammoniten[88], von denen bereits Analysen vorliegen, um eine Abschätzung ermöglichen zu können. Man kommt zu folgendem Ergebnis: Amatole und Ammonite bilden bei der Detonation etwa 0,1 Mol N_2O pro Mol Ammoniumnitrat (AN).

Laut Aussage der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM) ist die Menge des Sprengstoffverbrauchs in der BRD von 1990 bis 2005 konstant geblieben.

Der Emissionsfaktor für den Einsatz von Sprengstoffen beträgt 0,1036 kg N_2O/t Sprengstoff. Der Emissionsfaktor wurde von der Bundesanstalt für Materialprüfung im Februar 2010 durch Messungen ermittelt. Dadurch konnte der Emissionsfaktor gegenüber der Submission 2010 deutlich nach unten korrigiert werden.

Für Anästhesie, Sprühsahnedosen und die Halbeiterindustrie werden die Emissionen zusammen aggregiert mit den vertraulichen Emissionen aus der 1,12-Dodecandisäure-Produktion (2.B.10) berichtet, da Letzteres vertrauliche Daten enthält.

4.8.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.3)

Die Aktivitätsdaten für die Anästhesie werden seit 2005 aus den Verbandsangaben ermittelt, deshalb wird die Unsicherheit auf 20 % geschätzt. Die Verbrauchsmengen für Sprühsahne und Sprengmittel unterliegen einer sehr hohen Unsicherheit (75 %), da die Berechnungen auf mehreren Annahmen fußen und nur jeweils für ein Jahr eine Angabe vorliegt. Die Unsicherheit der Aktivitätsdaten wird für die Halbleiterindustrie auf 10 % geschätzt, da die Daten von den Anlagenbetreibern stammen. Für die Unsicherheiten der Sprengstoffe wird der IPCC Default-Wert von +/- 75 % verwendet.

Die Unsicherheit der Emissionsfaktoren für die Anästhesie und Sprühsahnedosen wird auf 0 % festgelegt, da zum gegenwärtigen Zeitpunkt davon ausgegangen wird, dass N_2O bei seiner Anwendung keiner Umwandlung unterliegt und somit nach der Anwendung vollständig in die Atmosphäre entweicht. Der Emissionsfaktor für den Einsatz in der Halbleiterherstellung wird auf eine Unsicherheit von 15 % geschätzt, da die Daten von den Anlagenbetreibern stammen. Der Emissionsfaktor für Sprengstoffe wird auf 5 % Unsicherheit geschätzt, da der Emissionsfaktor in einer amtlichen Messung ermittelt worden ist.

Für den Verteilungstyp der Zeitreihen kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

4.8.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.3)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

[88] Ammonit: Zusammensetzung 70-88 % Ammoniumnitrat mit 5-20 % Nitroaromaten, 1-6 % Pflanzenmehl sowie z.T. 4 %
Nitroglycerin, Aluminiumpulver und Kaliumperchlorat

Für die Verwendung in der Anästhesie zeigt ein Vergleich mit anderen Ländern, dass die meisten wie Deutschland den Emissionsfaktor von 1,0 verwenden. Dies entspricht auch dem Default-Wert der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 3, S. 8.36).

Für die Lachgas-Emissionen aus der Verwendung von Explosivstoffen ist ein Vergleich mit anderen Ländern oder Datenquellen nicht möglich, da Deutschland das einzige Land ist das diese Emissionen berichtet.

Eine Verifikation des Lachgaseinsatzes durch andere Datenquellen ist nicht möglich, da keine anderen Daten vorliegen mit denen eine Verifikation möglich wäre. Für die Berichterstattung wurden die Daten extra neu erhoben.

4.8.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.3)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.8.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.8.4 Sonstige Produktherstellung und -verwendung: Andere - ORC-Anlagen (2.G.4 ORC-Anlagen)

4.8.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 ORC-Anlagen)

In Deutschland werden fluorierte Treibhausgase seit dem Jahr 2003 in ORC-Anlagen eingesetzt und unter der Kategorie 2.G.4 berichtet.

Zur Stromerzeugung aus Wärmemengen, deren Temperaturen und Drücke für den üblichen Dampfkraftprozess mit Wasser zu niedrig sind, kann man den „Organischen Rankine Kreisprozess“ („Organic Rankine Cycle“, kurz: ORC) verwenden. Die Haupteinsatzbereiche von ORC-Anlagen sind die Erdwärme- (Geothermie-) und die Abwärmenutzung von (Heiz)kraftwerken und Biogas-Anlagen.

Im ORC-Kreislauf werden organische Stoffe wie HFKW, FKW, Kohlenwasserstoffe oder Silikonöle mit niedrigeren Verdampfungstemperaturen als Wasser als Arbeitsmittel eingesetzt. Die Arbeitsmittel verdampfen im ORC-Kreislauf und treiben die Turbine an, analog dem Wasserdampf in herkömmlichen Kraftwerken. In der Geothermie werden die mit Abstand größten Füllmengen, bis zu 75 Tonnen fluorierte Arbeitsmittel, eingesetzt. Deutlich geringere Füllmengen (0,2 bis 0,6 Tonnen) kommen bei der Nutzung von Abwärme in Biogas-Anlagen und in BHKW zum Einsatz.

In Deutschland begann die Verwendung von C_5F_{12} als Arbeitsmittel in einer ORC-Pilotanlage im Jahr 2003. Diese Anlage wurde bereits im Jahr 2010 außer Betrieb genommen. Der HFKW-134a kam erstmalig im Jahr 2008 in einer ORC-Anlage zum Einsatz. Im Jahr 2010 begann die Verwendung von HFKW-245fa als Arbeitsmittel. Ab dem Jahr 2011 wurden mehrere Anlagen mit dem HFKW-245fa sowie dem Arbeitsmittel „Solkatherm“, das aus HFKW-365mfc (65 %) und einem perfluorierten Polyether (PFPE) mit dem Handelsnamen „Galden“ (35 %) besteht, in Betrieb genommen.

4.8.4.2 Methodische Aspekte (2.G.4 ORC-Anlagen)

Emissionen aus ORC-Anlagen treten während der Befüllung, des Betriebs und der Entsorgung auf.

Herstellungsemissionen werden über den Inlands-Neuverbrauch als Aktivitätsrate bestimmt und gemäß Gleichung 1 berechnet.

Anwendungsemissionen werden basierend auf dem Endbestand der Arbeitsmittel durch Multiplikation mit dem $EF_{Anwendung}$ gemäß Gleichung 2 bestimmt.

Entsorgungsemissionen beziehen sich auf den Neuzugang des Jahres, der x Jahre (entsprechend der Produktlebensdauer) vor dem aktuellen Berichtsjahr n liegt und werden gemäß Gleichung 3 berechnet.

Entsorgungsemissionen spielen bisher, mit einer Ausnahme, noch keine Rolle, da die Anlagen größtenteils neu sind und bei großen ORC-Anlagen in der Geothermie von einer Lebensdauer von 30 Jahren, bei kleineren Anlagen von einer Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen wird.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen perfluorierten Polyethers „Galden“ werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen und sind in Tabelle 207 wiedergegeben.

Der Befüllungsverlust beträgt 2 % und ist länderspezifisch, da ORC-Anlagen nicht in den 2006 IPCC Guidelines aufgeführt sind und daher keine Default-Faktoren zur Verfügung stehen.

Die Anwendungsemissionen werden auf 4 % geschätzt. Auch hierfür gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Nach derzeitigem Stand der Technik beträgt der Emissionsfaktor der Entsorgung 20 %. Dieser Wert ist ebenfalls länderspezifisch.

Aktivitätsdaten

ORC-Anlagen stellen einen neuen Anwendungsbereich fluorierter Treibhausgase dar, über den erst wenige Daten und technische Informationen vorliegen. Die verwendeten Daten basieren daher fast ausschließlich auf Aussagen von Herstellern und Betreibern von ORC-Anlagen. Ermittelt wurden die Daten durch Expertengespräche (Gschrey et al., 2015).

4.8.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 ORC-Anlagen)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie ORC-Anlagen ist erfolgt.

Die Datenqualität der Verwendungsmengen wird insgesamt als gut bewertet. Die Zahl der Hersteller bzw. Vertreiber von ORC-Anlagen mit fluorhaltigen Arbeitsmitteln in Deutschland ist klein (weniger als 10 Unternehmen), und der Markt ist überschaubar. Die Datenqualität der jährlichen Verwendungsmengen von HFKW-245fa und Solkatherm (HFKW-365mfc und PFPE) ist gut, da die Zahlen direkt von den Herstellern dieser Arbeitsmittel (Honeywell und Solvay Solexis) stammen, die diese Stoffe als einzige Anbieter nach Deutschland exportieren.

Die Emissionsfaktoren sind mit größeren Unsicherheiten behaftet. Da ORC-Anlagen erst seit wenigen Jahren in Deutschland betrieben werden, gibt es bisher keine soliden empirischen Erforschungen. Die Werte basieren auf Schätzungen von Anlagenbetreibern.

4.8.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 ORC-Anlagen)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie bereits für die meisten Vorjahre, im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes durch einen externen Experten erhoben.

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch den externen Experten. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Forschungsnehmer erhobenen Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern sind nicht möglich, da keine Emissionen aus ORC-Anlagen von anderen Ländern berichtet werden. Ebenso ist kein Vergleich der Emissionsfaktoren möglich. Die 2006 IPCC Guidelines geben keine Default-Emissionsfaktoren vor, so dass auch hier keine Vergleichbarkeit gegeben ist.

4.8.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 ORC-Anlagen)

Die HFKW-245fa-Befüllungsmengen der Jahre 2018 und 2019 wurden basierend auf Herstellerangaben aktualisiert. Dadurch kam es zu folgenden geänderten Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-245fa in diesen Jahren, die in Tabelle 212 dargestellt sind.

Tabelle 212: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von HFKW-245fa in der Unterquellgruppe ORC-Anlagen (2.G.4) in den Jahren 2018 und 2019

	Einheit	2018	2019
EM HFKW-245fa			
Submission 2022	t CO_2eq	10.373	10.818
Submission 2021	t CO_2eq	9.767	10.164
Differenz	t CO_2eq	605	654

4.8.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 ORC-Anlagen)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.8.5 Sonstige Produktherstellung und -verwendung: Andere - Containerbegasung (2.G.4 Containerbegasung)

4.8.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Containerbegasung)

Als Ersatz für den ozonabbauenden Stoff Methylbromid, dessen Verwendung bereits seit vielen Jahren verboten ist, wird in Deutschland seit dem Jahr 2004 das fluorierte Treibhausgas Sulfuryldifluorid (SO_2F_2) zur Schädlingsbekämpfung in Containern mit Exportstammholz

eingesetzt. Das Holz wird hierzu im Container mit dem Pflanzenschutzmittel *ProFume®*, das den Wirkstoff Sulfuryldifluorid enthält, behandelt. Das Pflanzenschutzmittel emittiert anschließend vollständig.

Die Verwendungsmengen und Emissionen von SO_2F_2 waren über einen langen Zeitraum auf konstant hohem Niveau. Im Zuge steigender Exportmengen von Stammholz wegen der in den Jahren 2018 bis 2020 national aufgetretenen Dürre und hohen Borkenkäferbefallen in Fichtenholzwäldern stiegen sie seitdem stark an.

Wegen der hohen Umweltrelevanz und der, auch global, stark ansteigenden Verwendung des potenten Treibhausgases Sulfuryldifluorid berichtet Deutschland diesen Stoff ab dem Berichtsjahr 2020 freiwillig unter der Kategorie 2.G.4.

4.8.5.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Containerbegasung)

Emissionen treten nur während der Anwendung, d.h. der Begasung des Stammholzes in Containern, auf und werden über den Inlands-Neuverbrauch als Aktivitätsrate durch Multiplikation mit dem $EF_{Anwendung}$ gemäß Gleichung 2 bestimmt.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen Sulfuryldifluorides werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Der verwendete Emissionsfaktor ist das Ergebnis von Expertenaussagen und ist in Tabelle 207 wiedergegeben.

Nach derzeitigem Stand der Technik beträgt der Emissionsfaktor der Anwendung 100 %, da bisher keine Abgasreinigung durchgeführt wird. Dieser Wert ist länderspezifisch, da Containerbegasung nicht in den 2006 IPCC Guidelines aufgeführt ist und daher kein Default-Faktor zur Verfügung steht.

Aktivitätsdaten

Die Verwendungsmengen sind jährlich verfügbaren Statistiken der vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) erhobenen Absatzmengen von Sulfurylfluorid als Pflanzenschutzmittelwirkstoff in Deutschland entnommen (BVL, 2022).

4.8.5.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Containerbegasung)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Containerbegasung ist erfolgt.

Die Datenqualität der Verwendungsmengen wird insgesamt als gut bewertet, da sie offiziellen Statistiken des BVL entnommen sind.

Der Emissionsfaktor ist mit einer größeren Unsicherheit behaftet. Da SO_2F_2 erst seit wenigen Jahren verwendet wird, gibt es bisher keine soliden empirischen Erforschungen. Daher wird konservativ von einer vollständigen Emission ausgegangen.

4.8.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Containerbegasung)

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch die Fachbegleitung des UBA.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit

anderen Ländern sind nicht möglich, da keine Emissionen aus Containerbegasung von anderen Ländern berichtet werden. Ebenso ist kein Vergleich der Emissionsfaktoren möglich. Die 2006 IPCC Guidelines geben keine Default-Emissionsfaktoren vor, so dass auch hier keine Vergleichbarkeit gegeben ist.

4.8.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Containerbegasung)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.8.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Containerbegasung)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.8.6 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle)

4.8.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Holzkohle)

In dieser Kategorie werden CO_2-, CH_4-, N_2O- und Staub-Emissionen aus der Anwendung von Holzkohle zum Grillen berichtet.

In Deutschland werden nur geringe Mengen an Holzkohle produziert – es gibt einen großen Betreiber und mehrere Schauköhlereien. Die jeweiligen Mengen werden vom Statistischen Bundesamt (STBA) erhoben und unterliegen der Geheimhaltung. Die Produktion von Holzkohle wird unter 1.B.1b berichtet.

Der Holzkohleverbrauch ist in den Jahren 1990 bis 2012 , abgesehen von einem konjunkturell bedingten Einbruch im Jahr 2008, kontinuierlich gestiegen und seitdem stagnierend. Der weitaus größte Teil wird importiert. Im Jahr 2020 sank der Holzkohleverbrauch um rund 30% im Vergleich mit den Vorjahren.

4.8.6.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Holzkohle)

Dem Berechnungsmodell liegen die Annahmen zugrunde, dass alle Holzkohle innerhalb des Jahres verbraucht und vollständig verbrannt wird.

Die Berechnungen der CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen erfolgen nach einer Tier 1 Methode.

Aktivitätsraten

Die Produktionsmengen sowie die Import- und Exportmengen an Holzkohle für die Jahre ab 1996 entstammen dem Statistischen Bundesamt ((Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1), Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe sowie der Außenhandelsstatistik).

Die Berechnung der Verbrauchsmenge erfolgt gemäß Produktion + Import – Export.

Für die Jahre 1990 bis 1995 erfolgt die Berechnung der Verbrauchsmenge über den Pro Kopf-Verbrauch, der aus den Jahren 1996 bis 2013 abgeleitet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch in diesen Jahren der Verbrauch linear gestiegen ist.

Emissionsfaktoren

Da Import- und Exportzahlen veröffentlicht werden, können aus Geheimhaltungsgründen keine exakten Emissionsfaktoren für CO_2, CH_4 und N_2O angegeben werden. Die Emissionsfaktoren sind

aber vergleichbar mit den Emissionsfaktoren, die aus den 2006 IPCC Richtlinien abgeleitet werden können.

Jeder Emissionsfaktor wird für die gesamte Zeitreihe angewendet.

4.8.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Holzkohle)

Da eine Tier 1 Methode mit Emissionsfaktoren, die den Standardwerten der 2006 IPCC Guidelines ähnlich sind, angewendet wird, gelten auch die entsprechenden Unsicherheiten für Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (IPCC (2006b): Vol. 3, Ch. 5).

4.8.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Holzkohle)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der Import-, Export- und Produktionsmengen als Grundlage zur Verifikation der Verbrauchsmengen stehen außer den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Quellen zur Verfügung. Ein Vergleich der Import- und Exportzahlen mit den Daten von EUROSTAT wurde durchgeführt. Die Zahlen zeigen gute Übereinstimmung mit den vom Statistischen Bundesamt an EUROSTAT übermittelten Zahlen. Die Produktionsmengen können nicht verglichen werden, weil sie auch bei EUROSTAT als geheim ausgewiesen sind.

Ein Vergleich der Emissionsfaktoren mit den Emissionsfaktoren anderen Länder wurde durchgeführt. Aus Vertraulichkeitsgründen kann das Vergleichsergebnis nur intern dokumentiert werden. Die Emissionsfaktoren sind vergleichbar.

4.8.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Holzkohle)

Für das Jahr 2019 war eine Korrektur der Emissionen notwendig, da sich Anpassungen der Außenhandelsstatistik ergaben. Die Anwendungsmengen stiegen dadurch um 6 % und dementsprechend auch die Emissionen.

4.8.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Holzkohle)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.8.7 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Lachgas aus Sprengstoffen (2.G.4 Sprengstoffe)

4.8.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Sprengstoffe)

Die Lachgas-Emissionen aus der Anwendung von Sprengstoffen werden in den CRF-Tabellen in der Kategorie 2.G.4 berichtet, die Beschreibung dieser Kategorie findet sich im NIR in Kapitel 4.8.3 - Verwendung von N2O (2.G.3).

4.9 Andere Produktionen (2.H)

Die Kategorie *Andere Produktionen* ist keine Hauptkategorie.

Unter 2.H.1 Pulp and Paper sind im ZSE prozessbedingte Emissionen aus der Produktion von Spanplatten sowie aus der Produktion von Zellstoff aufgeführt.

Unter 2.H.2 Food and Drink sind prozessbedingte Emissionen aus der Produktion alkoholischer Getränke sowie Brot und anderer Nahrungsmittel zu finden.

Unter 2.H.3 werden vertrauliche Emissionen fluorierter Treibhause berichtet. Des Weiteren werden dort freiwillig zu berichtende F-Gase aggregiert berichtet.

4.9.1 Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung (2.H.1)

4.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.1)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NO_X, SO_2, NMVOC			CS

Die Kategorie *Andere Produktionen – Zellstoff- und Papierherstellung* ist keine Quelle für Treibhausgas-Emissionen und daher auch keine Hauptkategorie.

Alle Emissionen von klimarelevanten Gasen aus der Zellstoff- und Papierindustrie sowie der Spanplattenherstellung in Deutschland resultieren aus der Verbrennung von Energieträgern und werden daher in Kapitel 3.2 als energiebedingte Emissionen berichtet. Prozessbedingte Emissionen von klimarelevanten Gasen im Sinne der 2006 IPCC *Guidelines* gibt es bei der Zellstoff- und Papiererzeugung nicht.

Die **Herstellung von Zellstoff** nach dem Sulfatverfahren erfolgt in zwei der sechs Zellstoffanlagen in Deutschland mittels Kaustifizierung, wonach die brennstoffbedingten CO_2-Emissionen des Kalkofens bereits über die Brennstoffangaben als energiebedingte Emissionen berücksichtigt sind. Die restlichen vier Anlagen arbeiten nach dem Sulfitverfahren.

Es wurde darauf verzichtet, die länderspezifischen Emissionsfaktoren für CO bei den energiebedingten Emissionen der Zellstoffproduktion mit zu berücksichtigen, da eine Umrechnung der produktbezogenen Emissionsfaktoren in brennstoffbezogene Emissionsfaktoren erforderlich wäre. Diese Umrechnung ist sehr aufwendig. Die CO-Emissionen für die sechs Zellstoffwerke fallen jedoch mengenmäßig neben den CO-Emissionen aus den Papierfabriken kaum ins Gewicht.

Sowohl die Sulfat- als auch die Sulfitzellstoffproduktion ist eine potentielle SO_2-Emissionsquelle. In der Sulfatzellstoffproduktion treten aus den Laugenkesseln, Kalköfen, Rindenkesseln sowie Hilfskesseln auch Emissionen von NO_X, CO und NMVOC auf.

Spanplatten werden aus Holzspänen mit Zusatz von Bindemitteln unter Einwirkung von Druck und Wärme hergestellt. Hauptquelle der NMVOC Emissionen sind die eingesetzten Holzspäne, aus denen während der Trocknung durch Wärmeeinwirkung NMVOC ausgasen. Auch während des Pressvorgangs können NMVOC aus dem Holz und dem Bindemittel emittieren.

Die Produktion von Spanplatten erfolgt in ca. 20 Anlagen in Deutschland. Die Spanplattenindustrie ist überwiegend durch größere Unternehmen geprägt.

4.9.1.2 Methodische Aspekte (2.H.1)

In der **Zellstoff- und Papierindustrie** treten keine prozessbedingten Emissionen von klimarelevanten Gasen im Sinne der *IPCC Good Practice Guidance* (Penman et al., 2000) auf. Für die Vorläufersubstanzen Stickoxide, Schwefeloxide und flüchtigeVerbindungen wurden von den Anlagenbetreibern Emissionsfaktoren berichtet.

Tabelle 213: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Zellstoff. (deutscher Beitrag zur Revision des BVT-Merkblattes für die Papier und Zellstoffindustrie 2007 (Spörl, 2009))

in kg/ t	NO_X	NMVOC	SO_2
Sulfatzellstoff	1,75	C	0,03
Sulfitzellstoff	2		1

Zuletzt wurden in 153 Anlagen folgende Mengen produziert:

Tabelle 214: Zellstoff- und Papierherstellung, produzierte Mengen

Produkt	Produzierte Mengen 2020	
Erzeugung von Papier, Pappe und Karton (PPK)	21,35	Mio. t
Rohstoffproduktion:		
Papierzellstoff	1.466	kt
Holzstoff	684	kt
Altpapierstoff	14.486	kt
Menge dazu eingesetzten Altpapiers	(16.905 kt)	

Quelle: VDP (2020)

Diese Zahlen können bis 1990 zurückverfolgt werden und werden jährlich vom Verband DIE PAPIERINDUSTRIE e.V. erhoben und in einem Leistungsbericht zusammengestellt.

Spanplatten

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren in Höhe von 0,9 kg/t für NMVOC und 0,3 kg/t für Staub wurden auf der Basis von Expertenschätzungen ermittelt .

Aktivitätsdaten

Die Aktivitätsdaten entstammen der nationalen Statistik (W. Statistisches Bundesamt, 2021a), müssen zur weiteren Verwendung aber von Volumen- in Massenangaben umgerechnet werden.

Tabelle 215: Umgerechnete Aktivitätsdaten der Spanplattenindustrie

Jahr	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Spanplattenproduktion [in t]	4.402.000	4.560.000	4.703.000	4.322.168	4.489.681	4.430.611

Quelle: Statistisches Bundesamt, Melde-Nr. bis 2018: 1621 13 131; 1621 13 133; 1621 13 163; 1621 13 500, Meldenummern ab 2019: 162112001, 162112002, 162112003, 162113160, 162114190, 162114500, umgerechnet und summiert in Tonnen

4.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.1)

Zellstoff & Papier

Die deutschlandspezifischen Emissionsfaktoren bilden die erheblichen Modernisierungsmaßnahmen in den deutschen Sulfatzellstoffwerken ab, die zu einer starken Emissionsminderung geführt haben. Für die Sulfitzellstoffwerke führten kontinuierliche Verbesserungen zu einer erheblichen SO_2-Minderung gegenüber 1990.

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten betragen schätzungsweise 5 %. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren betragen schätzungsweise 20 %.

Spanplatten

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Spanplattenindustrie betragen ±5 % (Expertenschätzung wegen Umrechnung statistischer Angaben).

4.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.1)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt.

4.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.1)

Rückrechnungen waren 2021erforderlich, da die Aktivitätsrate für das Jahr 2019 für Sulfatzellstoff vom Verband geringfügig korrigiert wurde. Die Emissionen sind nicht treibhausgasrelevant, so dass sich für die Treibhausgasemissionen keine Veränderungen daraus ergeben.

4.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.1)

Derzeit sind keine Inventarverbesserungen für diese Kategorie geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.9.2 Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke (2.H.2)

4.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.2)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	NA	NA	NA
NMVOC	CS	NS	CS/D

Die Kategorie *Andere Produktionen - Nahrungsmittel und Getränke* ist keine Quelle für Treibhausgas-Emissionen und daher auch keine Hauptkategorie.

Emissionen der direkten Klimagase aus der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie in Deutschland resultieren aus der Verbrennung von Energieträgern und werden daher in CRF 1.A.2 berichtet. Als prozessbedingte Emissionen der Nahrungsmittel- und Getränkeherstellung sind Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC) von Bedeutung (IPCC (2006b): Vol. 1 S. 7.13). Die Kohlendioxidemissionen aus den eingesetzten Nahrungsmitteln, die während bestimmter Prozesse bei der Produktion anfallen, werden nicht in CRF 2.H.2. berichtet, da sie aus der Verwendung von biologischem Kohlenstoff stammen und nicht zur Netto-CO_2-Emission beitragen. Die bei der Extraktion von Ölen & Fetten (Soja, Raps, Sonnenblumenkerne usw.) anfallenden Lösemittelemissionen - sozusagen die Lösemittelanwendung bei der Rohstoff-Herstellung - werden in der Kategorie 2.D.3 berichtet. Das bei der Zuckerherstellung eingesetzte, aus dem Brennen von Kalkstein gewonnene CO_2 wird während des Produktionsprozesses gebunden. Daher ist dieser Prozess nicht emissionsrelevant (s. Lechtenböhmer et al. (2006b); Lechtenböhmer et al. (2006a).

Die Emissionen der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie werden im Inventar in der „Table2(I)s2“ des sektoralen Reports für Industrielle Prozesse zusammengefasst berichtet.

In der Kategorie der Nahrungsmittel und Getränke werden nach IPCC-Guidelines folgende Produkte für die Emissionsberichterstattung betrachtet:

Alkoholische Getränke

- Wein
- Bier
- Spirituosen

Brot und andere Nahrungsmittel

- Fleisch, Fisch und Geflügel
- Zucker
- Margarine und harte und gehärtete Fette
- Kuchen, Kekse und Frühstückscerealien

- Brot
- Tierfutter
- Kaffeeröstung
- Für diese Produkte werden Default-Emissionsfaktoren für die NMVOC-Emissionen im EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019) angegeben (EMEP/EEA (2019), Kapitel 2.H.2).

4.9.2.2 Methodische Aspekte (2.H.2)

Für die Berechnung von Emissionen wurden sofern vorhanden nationale Emissionsfaktoren, ansonsten die von EMEP/ EEA empfohlenen Emissionsfaktoren verwendet. Grundlage für die Auswahl der Emissionsfaktoren bildet der Forschungsbericht „Emissionen aus der Nahrungsmittelindustrie“ (Anderl et al., 2008; Theloke et al., 2008). Das Vorgehen erfolgt analog der Beschreibung im NIR 2013.

Bis auf wenige Ausnahmen werden die Aktivitätsdaten direkt durch das Statistische Bundesamt per Datenlieferung zur Verfügung gestellt. Ergänzend werden Abfragen über das Internetportal Genesis-Online des Statistischen Bundesamtes gestellt. Bezüglich der Weinerzeugung werden ergänzend Daten der Fachserie 9 Reihe 3.2.2, zur Futterherstellung Daten aus dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und zur Spirituosenwirtschaft Erhebungen des Bundesverbandes der Deutschen Spirituosen-Industrie genutzt. Zum Zwecke internationaler Vergleichbarkeit aggregiert die Nationale Koordinierungsstelle alle Produkte auf die gemeinsame Enheit Kilotonnen. Diese Gesamtangaben sind in den CRF-Tabellen als Aktivitätsdaten ablesbar, entsprechen aber einem Schätzverfahren.

Für die Kategorie 2.H.2 ergeben sich für 2020 insgesamt 15,6 kt NMVOC-Emissionen, wovon 4,7 kt NMVOC auf die Brotherstellung, 3,5 kt NMVOC auf die Zuckerherstellung und 3,5 kt NMVOC auf die Spirituosenherstellung zurückzuführen sind. Die Veränderungen im Vergleich zum Vorjahr liegen im Bereich der üblichen Schwankungen, lediglich im Bereich der Brotherstellung gab es deutliche Steigerungen, dagegen bei der Bierherstellung Rückgänge.

4.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.2)

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten betragen schätzungsweise 5-20 %. Weitere Informationen zu Unsicherheiten sind dem NIR 2013 zu entnehmen.

4.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.2)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt.

In Berichten anderer Staaten sind kaum Ausführungen zu 2.H.2 enthalten, so dass ein Vergleich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich ist. Ein Vergleich mit ETS-Daten ist nicht möglich, da in 2.H.2 keine emissionshandelspflichtigen Emissionen anfallen.

4.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.2)

Es waren keine Rückrechnungen notwendig.

4.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.2)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

4.9.3 Andere Bereiche (2.H.3)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC, PFC, SF6	s. Kapitel 4.6.4: Tabelle 204/ Tabelle 207	s. Kapitel 4.6.4 / 4.7.5 / 4.8.2	s. Tabelle 204/ Tabelle 207

Die Emissionen von SF_6 aus der Anwendung bei der *AWACS-Wartung* (2.G.2.a Militärische Anwendungen), der Anwendung in *Sportschuhen* (2.G.2.d. Adiabatische Eigenschaften - Sportschuhe), der Anwendung beim *Schweißen* (2.G.2.e Sonstige – Schweißen) sowie der Anwendung bei der Herstellung *optischer Glasfasern* (2.G.2.e Sonstige – optische Glasfasern) werden aus Vertraulichkeitsgründen unter 2.H.3 berichtet.

Die Emissionen von HFKW aus der Verwendung der Lösemittel HFKW-43-10mee, HFKW-245fa sowie HFKW-365mfc, werden auch unter 2.H.3 berichtet.

Die Emissionen von FKW aus der Verwendung als Wärmeüberträger (2.E.4), Lösemittel (2.F.5), aus der Anwendung in Sportschuhen (2.G.2.d Adiabatische Eigenschaften - Sportschuhe) sowie die Verwendung von Perfluordecalin in medizinischen und kosmetischen Anwendungen (2.G.2.e Sonstige – Medizinische und kosmetische Anwendungen) werden ebenfalls unter 2.H.3 berichtet.Entsprechend der Empfehlung des Expert Review Teams wird darauf verwiesen, dass sämtliche Informationen zu den unter 2.H.3 berichteten Emissionen zur Beschreibung der Quellgruppe, Methodischen Aspekten, Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz, Kategoriespezifischen Rückrechnungen & Verifizierung sowie den geplanten Verbesserungen in den entsprechenden Kategorie-Kapiteln zu finden sind.

Zusätzlich zu den berichtspflichtigen Treibhausgasen hat sich Deutschland entschlossen, die in Tabelle 216 dargestellten nicht berichtspflichtigen Treibhausgase für die in Deutschland relevanten, ebenfalls aufgezählten Anwendungen zu berichten. In Tabelle 217 sind die Emissionen dieser nicht berichtspflichtigen Treibhausgase aus Vertraulichkeitsgründen in aggregierter Form dargestellt.

Tabelle 216: Überblick über freiwillig berichtete fluorierte Treibhausgase, ihre Treibhausgaspotenziale (GWP) und ihre Anwendungsbereiche

Treibhausgas	Formel	GWP	Anwendungsbereich	QG
HFCKW-1233zd	$CHCl=CH-CF_3$ (E)	5[1]	stationäre Klimaanlagen	2.F.1.f
HFKW-1234yf	$CF_3-CF=CH_2$	4[1]	Gewerbekälte Transportkälte mobile Klimaanlagen stationäre Klimaanlagen	2.F.1.a 2.F.1.d 2.F.1.e 2.F.1.f
HFKW-1234ze	$CF_3-CH=CHF$ (E)	7[1]	Gewerbekälte stationäre Klimaanlagen XPS-Schäume allgemeine Aerosole	2.F.1.a 2.F.1.f 2.F.2.a 2.F.4.b
HCFE-235da2 (Isofluran)	$CHF_2OCHClCF_3$	350	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
HFE-236ea2 (Desfluran)	$CHF_2OCHFCF_3$	989	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
HFE-347mmz1 (Sevofluran)	$CH_2FOCH(CF_3)_2$	216[2]	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
PFPE/PFPMIE	$CF_3(OCF(CF_3)CF_2)_n(OCF_2)_mOCF_3$	10.300	ORC-Anlagen	2.G.4
Sulfuryldifluorid	SO_2F_2	4.090[2]	Containerbegasung	2.G.4

Wenn nicht anders angegeben, stammen die GWP-Werte aus dem 4. IPCC Assessment Report (IPCC 2007).

[1] GWP-Wert nach Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-GasV, 2014).

[2] GWP-Wert aus dem 5. IPCC Assessment Report.

Tabelle 217: Aggregierte Emissionen der nicht berichtspflichtigen fluorierten Treibhausgase HFCKW-1233zd, HFKW-1234yf, HFKW-1234ze, HCFE-235da2, HFE-236ea2, HFE-347mmz1, PFPE/PFPMIE und SO_2F_2

Jahr	Emissionen in t CO_2-Äquivalenten
1990	3.038
1991	3.795
1992	4.619
1993	5.512
1994	6.474
1995	7.504
1996	13.874
1997	20.026
1998	26.671
1999	33.809
2000	41.439
2001	47.758
2002	54.433
2003	61.463
2004	69.871
2005	76.591
2006	316.265
2007	348.453
2008	295.501
2009	339.346
2010	310.419
2011	222.400
2012	257.553
2013	335.499
2014	307.038
2015	319.668
2016	291.922
2017	255.051
2018	347.861
2019	765.485
2020	971.157

5 Landwirtschaft (CRF Sektor 3)

5.1 Übersicht (CRF Sektor 3)

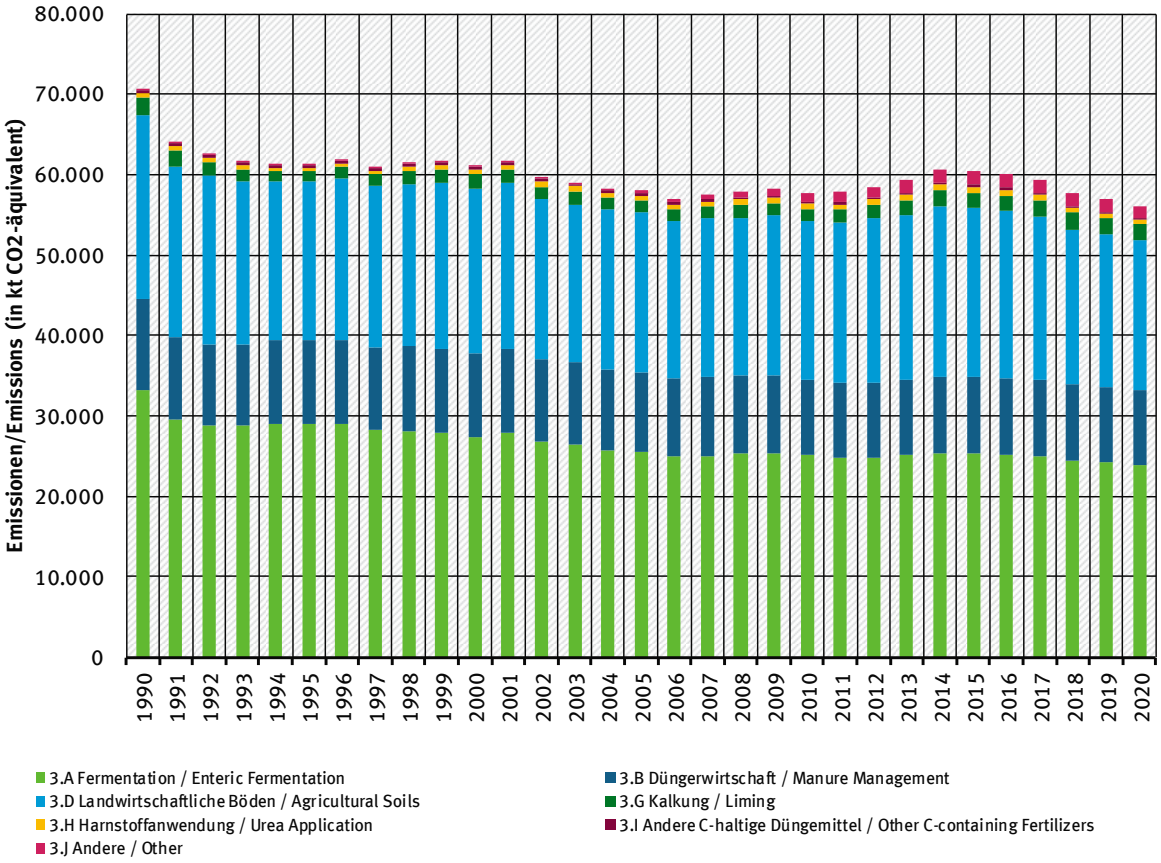
5.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen 1990 - 2020

Deutschland berichtet in der Kategorie 3 „Landwirtschaft“ über die Emissionen aus der Fermentation bei der Verdauung (3.A), aus der Behandlung von Wirtschaftsdüngern (incl. Wirtschaftsdünger-Vergärung und deren Gärrestelagerung) (3.B), aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D), aus Kalkung (3.G), aus der Anwendung von Harnstoff (3.H) sowie der Anwendung anderer kalkhaltiger Dünger (3.I). Zusätzlich werden die im Zusammenhang mit der Energiepflanzen-Vergärung entstehenden Emissionen berichtet (3.J: Emissionen aus Vergärung von Energiepflanzen und deren Gärrestelagerung; 3.D: Emissionen infolge der Ausbringung der Gärreste). Emissionen aus der Vergärung und Kompostierung anderer Stoffe, z. B. von Lebensmittelabfällen und Grünschnitt, werden einschließlich der Emissionen aus der Ausbringung der daraus resultierenden Gärreste im Abfall-Sektor 5.B.2 (siehe Kapitel 7.3.2) berichtet.

Emissionen aus dem Reisanbau (3.C) kommen in Deutschland nicht vor, Brandrodung (3.E) wird in Deutschland nicht praktiziert (NO). Das Abbrennen von Feldern und Ernterückständen (3.F) ist in Deutschland per Gesetz (BGBl, 2004, und vorrangehende bundes- und landesrechtliche Regelungen, siehe Vos et al. (2022, Kap. 11.9), verboten (NO).

Abbildung 43 gibt für den vorliegenden NIR 2022 eine Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus den Bereichen 3.A, 3.B, 3.D, 3.G, 3.H und 3.J seit 1990. Die Daten wurden mit dem Inventarmodell Py-GAS-EM (siehe Kapitel 5.1.2) berechnet.

Abbildung 43: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 3



5.1.2 Das Emissionsinventarmodell Py-GAS-EM

5.1.2.1 Verwendete Regelwerke und ausführlicher Bericht

beruht im Wesentlichen auf der Umsetzung der entsprechenden Handbücher (Treibhausgase: IPCC (2006b, Vol. 1 & 4); Schadstoffe, insbesondere NH_3: EMEP/EEA (2019). Für die Berechnung von Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen geben die genannten Handbücher keine Berechnungsmethodik an.

Im Laufe der letzten Jahre wurden zahlreiche der in den Handbüchern beschriebenen Methoden für das Py-GAS-EM-Modell weiter entwickelt. Für die Berechnung von Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen wurde eine nationale Methodik entwickelt. Eine umfassende Beschreibung des Inventarmodells Py-GAS-EM einschließlich der Dokumentation weiterer Quellen findet sich im ausführlichen Bericht (Vos et al., 2022). Die nachfolgenden Ausführungen repräsentieren eine Zusammenfassung des ausführlichen Berichtes.

5.1.2.2 Grundstruktur des Emissionsinventarmodelles Py-GAS-EM

Als Grundlage der Emissionsberechnungen in der Tierhaltung dient die Futteraufnahme, die als Funktion des erhaltungs- und leistungsbedingten Energiebedarfs berechnet wird, wie Abbildung 44 am Beispiel der Milchkuh verdeutlicht. Daraus ergeben sich die CH_4-Emissionen aus der Verdauung (3.A) und die Ausscheidungen von Kohlenstoff und Stickstoff für die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management (3.B). Letztere gehen auch in die Berechnungen des Stickstoffeintrags in landwirtschaftliche Böden (3.D) ein.

Abbildung 44: Logik der nationalen Methodik für die Emissionsberechnungen in der Tierhaltung am Beispiel der Milchkuh. („Leistungsindikator" steht hier für die Summe aus leistungs- und erhaltungsbedingtem Bedarf.)

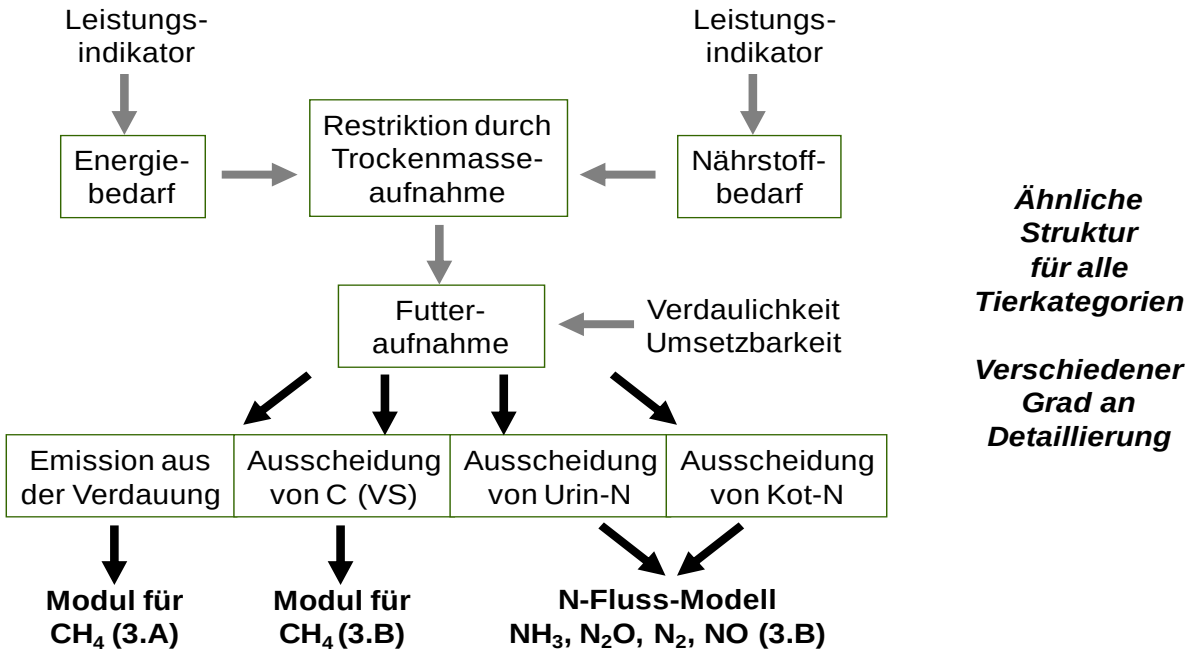
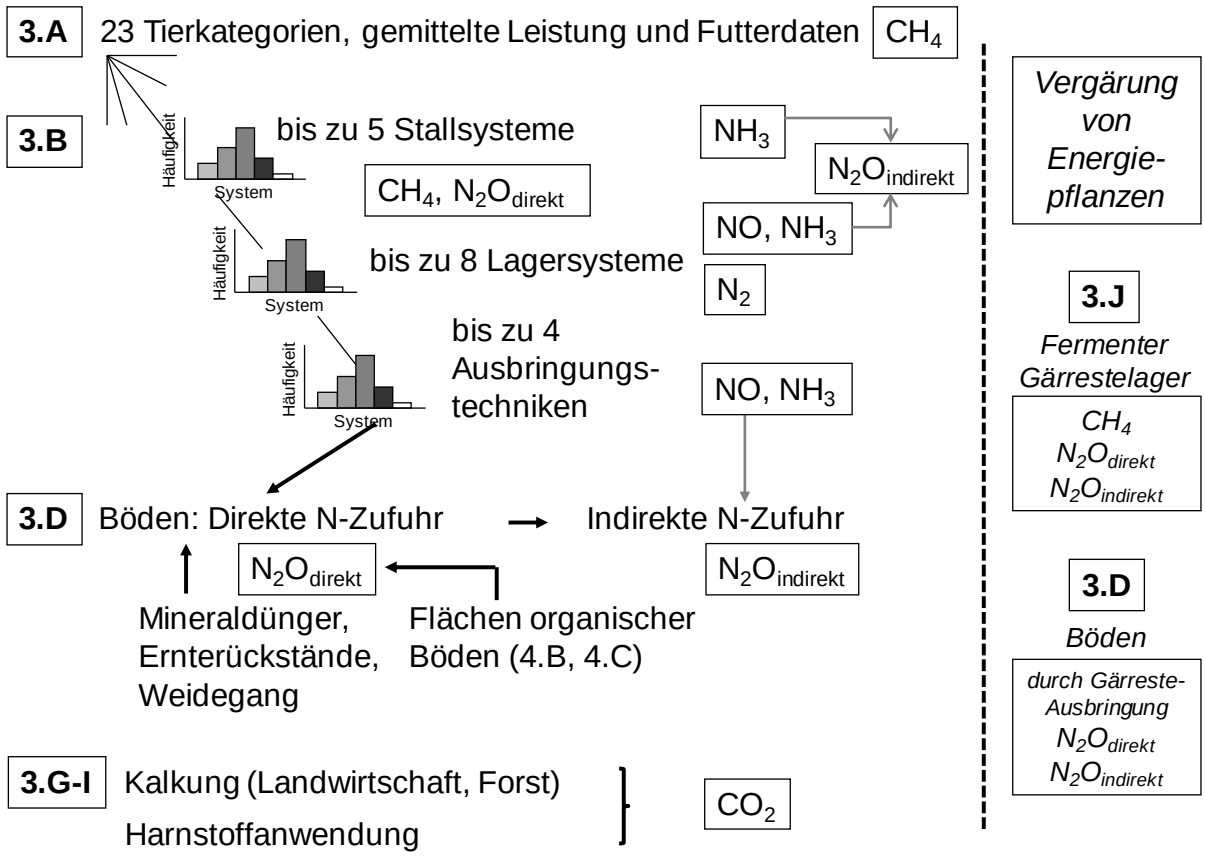


Abbildung 45 zeigt, wie das Py-GAS-EM-Modell erst nach Tierkategorien und –unterkategorien für die Berechnungen der Kategorien 3.A und 3.B differenziert und diese wiederum nach Stallsystemen, Lagerungssystemen (mit Vergärung als separatem Lagersystem) und Ausbringungsverfahren für Wirtschaftsdünger und Gärreste aufteilt. CH_4 wird für 3.A und 3.B getrennt für jede Tier-Subkategorie berechnet. N_2O wird für die Kategorien 3.B und 3.D auf der Basis eines N-Fluss-Konzeptes berechnet (s. Kapitel 5.1.2.4). CO_2-Emissionen werden im Bereich 3.G-I für Kalkung und Harnstoffeinsatz berechnet, wobei IPCC-konform auch die Kalkung im Forst eingeschlossen ist. Die Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen werden in zwei getrennten Abschnitten berechnet: Emissionen aus Fermenter und Gärrestelagerung in 3.J, Emissionen aus Böden als Folge der Gärreste-Ausbringung in 3.D.

Abbildung 45: Konzept und thematische Inhalte des GAS-EM-Modells



5.1.2.3 Die Behandlung von CH_4 im Emissionsinventar

Mit dem Inventarmodell Py-GAS-EM werden die CH_4-Emissionen aus der Verdauung und den VS-Ausscheidungen der landwirtschaftlichen Nutztiere (siehe Kapitel 5.2 und 5.3.2) berechnet, wobei gülle- und strohbasierte Systeme mit ihren typischen Lagerformen berücksichtigt werden. Die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen in Biogasanlagen wird in die Berechnungen einbezogen (siehe Kapitel 5.1.3.6.5 und 5.1.4).

5.1.2.4 Das Stickstoff-Fluss-Konzept (3.B, 3.D)

Die Berechnung der Emissionen von N-Spezies mit Py-GAS-EM erfolgt auf Grundlage des N-Fluss-Konzeptes (Dämmgen & Hutchings, 2005), siehe dazu Kap. 3.3.4.3.1 in Vos et al. (2022) .

Wesentliche Voraussetzung für die Anwendung des Konzeptes ist die Bestimmung der tierischen N-Ausscheidung (siehe dazu Kapitel 5.1.3.4). Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Schweinen, Legehennen, Junghennen, Masthähnchen und -hühnchen, Enten sowie Putenhähnen und Putenhennen wird die N-Ausscheidung als Differenz zwischen aufgenommener N-Menge und erhaltungs- und leistungsbedingtem N-Bedarf (Tiergewicht, Gewichtszuwachs, jährliche Milchmenge oder Anzahl an Eiern, gegebenenfalls Anzahl der Nachkommen) berechnet. Die mit dem Futter aufgenommene N-Menge wird anhand des tierischen Energiebedarfs sowie des Energie- und N-Gehalts im Futter ermittelt. Für die übrigen Tiere werden N-Ausscheidungswerte aus der deutschen Fachliteratur entnommen oder abgeleitet.

Bei der N-Ausscheidung wird zwischen den beiden Anteilen „organisches N“ und „leicht in NH_3 umsetzbares N (TAN, total ammoniacal nitrogen)“ unterschieden. TAN ist im Harn von

Säugetieren vorhanden; im Py-GAS-EM-Modell wird TAN mit dem N-Gehalt im Harn gleichgesetzt. Geflügel scheidet UAN (uric acid nitrogen) aus, das im Inventar TAN gleichgesetzt wird. Aufgrund der Definitionen der Emissionsfaktoren werden prinzipiell die NH_3-Emissionen proportional zur verfügbaren TAN-Menge und die N_2O-, NO-, und N_2-Emissionen proportional zur verfügbaren N-Gesamtmenge berechnet. Daher werden zwei N-Pools parallel in den Rechnungen mitgeführt: Dies sind (1) die gesamte im jeweiligen Stadium zur Verfügung stehende N-Menge, d. h. die Summe aus organischem N und TAN, sowie (2) TAN allein.

Die für eine Tierkategorie ermittelten N-Ausscheidungen werden auf Stall und Weide aufgeteilt. Diese Aufteilung erfolgt entsprechend den im Stall und auf der Weide verbrachten Zeitanteilen.

Bei Festmistsystemen wird zusätzlich zu den N-Ausscheidungen der N-Eintrag durch Einstreumaterial berücksichtigt.

Für jede Tierkategorie werden die im Stall anfallenden N-Mengen im Verhältnis der relativen Anteile der in Deutschland üblichen Haltungsverfahren aufgeteilt. N-Verluste durch NH_3-Emission werden von TAN-Pool und Gesamt-N-Pool subtrahiert. Die verbleibenden N- und TAN-Mengen aller Ställe werden für güllebasierte Systeme einerseits und strohbasierte Systeme andererseits zusammengefasst und ins Lager transferiert.

Das Inventar berücksichtigt Abluftreinigungsanlagen in der Schweine- und Geflügelhaltung, siehe Kap. 3.3.4.3.3 und 3.4.5.2 in Vos et al. (2022) . Das in Abluftreinigungsanlagen abgeschiedene N wird als TAN angesehen und direkt mit dem Wirtschaftsdünger ausgebracht (s. u.).

Die dem Lager zufließenden Gesamt-N- und TAN-Mengen (bei Festmistsystemen einschließlich des N-Eintrages durch Einstreu) werden getrennt nach festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern zwischen den verschiedenen in Deutschland gängigen Lagerverfahren entsprechend ihren prozentualen Anteilen aufgeteilt. Die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen wird berücksichtigt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Aus dem Lager erfolgen Emissionen von NH_3 aus TAN- und Gesamt-N-Pool. Die N-Verluste durch die Emissionen von N_2O, NO und N_2 werden für Stall und Lager gemeinsam berechnet und aus dem Gesamt-N-Pool subtrahiert; parallel werden diese N-Verluste im Verhältnis von TAN- zu N-Gesamt-Menge auch dem TAN-Pool entzogen. Die verbleibenden N- bzw. TAN-Mengen werden ausgebracht, wobei noch das in Abluftreinigungsanlagen abgeschiedene N zugeschlagen wird.

Die zur Ausbringung kommende N-Menge wird auf die in Deutschland üblichen verschiedenen Ausbringungsverfahren und Einarbeitungszeiten von Wirtschaftsdüngern aufgeteilt. Dies geschieht im Verhältnis der relativen Anteile der verschiedenen Ausbringungsvarianten an der Gesamtmenge des auszubringenden Wirtschaftsdüngers, differenziert nach Tierkategorie und festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern. Die N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden infolge der Ausbringung von Wirtschaftsdünger und Gärresten aus Wirtschaftsdünger werden proportional zur ausgebrachten N-Menge berechnet.

Aus der beim Weidegang ausgeschiedenen Gesamt-N-Menge werden die N_2O-Emissionen infolge von Weidegang berechnet. Die N-Ströme, die im Zusammenhang mit der Vergärung von Energiepflanzen und der Lagerung und Ausbringung der resultierenden Gärreste entstehen, werden getrennt von den N-Strömen der Tierhaltung behandelt. Ihre Berechnung erfolgt, ausgehend von der N-Menge in den zu vergärenden Energiepflanzen (siehe Kapitel 5.1.4.2), sinngemäß wie oben für die tierischen N-Ausscheidungen beschrieben.

Wie beim Wirtschaftsdünger werden die durch die Ausbringung von Mineraldünger verursachten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden proportional zur ausgebrachten N-Menge berechnet.

Wie beim Wirtschaftsdünger werden die durch die Ausbringung von Mineraldünger verursachten direkten und indirekten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden proportional zur ausgebrachten N-Menge berechnet.

5.1.3 Charakterisierung der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung

5.1.3.1 Tierkategorien (3.A, 3.B)

Für die Berechnung der Emissionen aus der Tierhaltung in der deutschen Landwirtschaft werden die Tierbestände in Unterkategorien unterteilt, um die erforderliche Beschreibung leistungs- und haltungsmäßig homogener Teil-Tierbestände zu ermöglichen. Tabelle 218 zeigt eine Gegenüberstellung der in den CRF-Tabellen zu berichtenden Tierkategorien und der im deutschen Inventar verwendeten Tierkategorien.

Die CRF-Kategorien „Esel und Maultiere“ und „Büffel“ werden als „IE“ berichtet, da die Tierzahlen dieser Kategorien in den Tierzahlen der „Pferde“ bzw. „übrigen Rinder“ enthalten sind (siehe Kapitel 5.1.3.2.2).

Über die Kategorien Gehegewild, Kaninchen, Strauße und Pelztiere wird in den CRF-Tabellen unter IPCC (2006b, Vol. 4) nicht berichtet, da ihr Beitrag zu den Gesamtemissionen unter 0,05 % des Gesamtinventars und unter 500 kt CO_{2eq} liegt (gemäß United Nations (2014 para 37)) und die zur Emissionsberechnung benötigten Tierzahlen in Deutschland nicht offiziell erfasst werden. In Kapitel 19.3.1 wird der Emissionsbeitrag dieser Kategorien abgeschätzt. In Kapitel 21 werden alle Quellen zusammengestellt, für die keine Emissionen berichtet werden (Eintrag NE).

Tabelle 218: CRF-Tierkategorien und die für die deutsche Emissionsberichterstattung verwendete Unterteilung (3.A, 3.B)

CRF-Tierkategorien		Tierkategorien im deutschen Inventar
1	Milchkühe	„Milchkühe“ [a]
	Übrige Rinder	„Kälber“ (bis 4 Monate) [a] „Milchfärsen“ [b] „Schlachtfärsen“ [b] (weibliche Jungrinder ab 4 Monaten) [a] „Mastbullen“ (männliche Jungrinder ab 4 Monaten) [a] „Mutterkühe“ [a] „männliche Rinder ab 2 Jahren“ [a]
2	Schafe	„Erwachsene Schafe“ „Lämmer“
3	Schweine	„Sauen“ (incl. Saugferkel bis 8 kg) „Aufzuchtferkel“ „Mastschweine“ „Eber“

	CRF-Tierkategorien	Tierkategorien im deutschen Inventar
4	Büffel	--- [a]
	Kamele	--- [c]
	Gehegewild	--- [d]
	Ziegen	„Ziegen“
	Pferde	„Großpferde“ [e] „Kleinpferde und Ponys“ [e]
	Esel und Maultiere	--- [e]
	Geflügel	„Legehennen“ „Masthähnchen und –hühnchen“ „Junghennen“ „Gänse“ „Enten“ „Puten, männlich“ „Puten, weiblich“
	Kaninchen	--- [d]
	Rentiere	--- [c]
	Strauße	--- [d]
	Pelztiere	--- [d]

[a] Im deutschen Inventar wurden Büffel bis 2012 den Mutterkühen zugeschlagen, ab 2013 sind Büffel nicht separierbar in den amtlichen Tierzahlen der übrigen Rinder und Milchkühe enthalten. Für Details siehe Kapitel 4.1.1.2 in Vos et al. (2022).

[b] Zur Definition von Milch- und Schlachtfärsen siehe Vos et al. (2022), Kapitel 4.5.

[c] Diese Tiere kommen in Deutschland nicht vor.

[d] Über diese Tiere wird nicht berichtet, da ihr Beitrag zu den Emissionen nicht relevant ist, siehe Kapitel 19.3.1.

[e] Im deutschen Inventar wurden Esel und Maultiere bis 2009 den Kleinpferden und Ponys zugeschlagen, ab 2010 sind sie nicht separierbar in den amtlichen Tierzahlen der Pferde enthalten.

5.1.3.2 Tierplatzzahlen (3.A, 3.B)

Das Inventarmodell Py-GAS-EM rechnet in jährlichen Zeitschritten. Mögliche interanuelle Schwankungen u. a. der Tierpopulationen können nicht abgebildet werden. Das deutsche Inventar beruht daher auf der Annahme, dass die durch die Offizialstatistik an einem bestimmten Stichtag (siehe Kapitel 5.1.3.2.1) vorgefundenen Anzahlen besetzter und unbesetzer Tierplätze während eines Jahres konstant sind. Es lässt sich zeigen, dass mit diesem Konzept bei Tierkategorien mit Lebensdauern unter einem Jahr der zwischen zwei Produktionszyklen vorkommende Leerstand korrekt berücksichtigt ist, siehe Kap. 3.1.2.2 in Vos et al. (2022).

Die am Stichtag vorgefundenen Anzahlen besetzter Tierplätze werden für die Inventarberechnungen als Tierzahlen interpretiert. Dies entspricht der AAP-Definition („average annual population“) in IPCC (2006b Vol 4, Section 10.2.2): Vol. 4, Section 10.2.2., welche auch von EMEP übernommen wurde (s. EMEP/EEA (2019 3B-14)).

5.1.3.2.1 Erhebungen durch die statistischen Ämter des Bundes und der Länder

Das Statistische Bundesamt und die statistischen Landesämter führen Agrarstruktur-erhebungen[89] durch, bei denen zusammen mit anderen Daten die Tierzahlen für Rinder, Schweine, Schafe, Pferde (ab 2010: Equiden) und Geflügel erfasst werden. Diese Agrarstrukturerhebungen fanden 1990 - 1996 und 1999 - 2007 jedes zweite Jahr statt, 2010 im Rahmen der umfangreicheren Landwirtschaftszählung 2010 (Statistikportal (Statistische Ämter

[89] https://www.destatis.de/Migration/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Agrarstrukturerhebung2016/Agrarstrukturerhebung2016.html;jsessionid=EAB8F1AF6D6DD78AC06FA516B912A52D.internet741

des Bundes und der Länder), 2010) sowie in den Jahren 2013 und 2016. Die letzte Landwirtschaftszählung fand 2020 statt und wurde, soweit Auswertungen rechtzeitig zur Inventarerstellung durch das Statistische Bundesamt bereit gestellt wurden, erstmalig berücksichtigt. Die Erhebungen 1990, 1992, 1994 und 1996 erfolgten am 3. Dezember, während der Stichtag in den Jahren 1999 - 2007 am 3. Mai und in den Jahren 2010, 2013,2016 und 2020 am 1. März war.

Neben den Agrarstrukturerhebungen finden jährlich Viehbestandserhebungen statt (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 4.1). Bis 1998 einschließlich erfolgten diese Erhebungen halbjährlich für Rinder und Schafe (Juni, Dezember), viermonatlich für Schweine (April, August, Dezember), sowie alle zwei Jahre im Dezember der geraden Jahre für alle Tierarten, d. h. auch für Pferde und Geflügel. Stichtag war jeweils der dritte Kalendertag im Monat. Seit 1999 erfolgt die Viehbestandserhebung für Rinder und Schweine zweimal jährlich zum Stichtag 3. Mai und 3. November. Für Schafe gilt 1999 bis 2009 der Stichtag 3. Mai und ab 2011 der 3. November, während 2010 die Erhebung am 1. März erfolgte.

Für Rinder, Schweine und Schafe liegen somit für alle Jahre seit 1990 Tierzahlen aus offiziellen Erhebungen vor. Dabei wurden im Inventar bis 1998 einschließlich die Daten von Dezember (für Schafe im Juni) und danach bis 2010 einschließlich die Daten von Mai verwendet (Schafe 2010: 1. März, da weder Mai- noch November-Daten verfügbar waren), während in Absprache mit dem Statistischen Bundesamt ab 2011 der November-Stichtag zu verwenden ist (European Parliament and Council of the European Union, 2008 Article 4). Diese Zahlen entsprechen den vom Statistischen Bundesamt an EUROSTAT übermittelten Zahlen. Der Wechsel des Stichtages zum 3. November hat bei Rindern und Schweinen keinen signifikanten Einfluss auf die Tierzahlen. Bei den Schafzahlen erwies sich dagegen eine Tierzahlkorrektur als erforderlich, siehe Kapitel 5.1.3.2.2.

Die Anzahl der Ziegen in Deutschland wurde zwischen den Jahren 1977 und 2010 nicht erfasst. Bis 2004 schätzte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die Ziegenzahlen auf nationaler Ebene. Diese Zeitreihe wurde ab 2005 durch Schätzungen des Statistischen Bundesamtes ergänzt. Die 2010 im Rahmen der Landwirtschaftszählung 2010 (Statistikportal (Statistische Ämter des Bundes und der Länder), 2010) erstmalig wieder offiziell erfasste Gesamtzahl der Ziegen (Stichtag 1. März) liegt deutlich unter den Schätzungen der Vorjahre. Diese Schätzungen, die auch an EUROSTAT berichtet wurden, werden nach Abstimmung mit dem Statistischen Bundesamt weiter im Inventar verwendet. Für 2013, 2016 und 2020 liegen offiziell erhobene Ziegenzahlen des Statistischen Bundesamtes vor (Stichtag 1. März).

Für Pferde bzw. Equiden und Geflügel sind Tierzahlen nur alle zwei bis drei Jahre aus den Agrarstrukturerhebungen verfügbar (Stichtage: bis 1998 einschließlich 3. Dezember, 1999 – 2007 der 3. Mai, sowie der 1. März in den Jahren 2010, 2013, 2016 und 2020. Es erfolgten in Absprache mit dem Statistischen Bundesamt keine Tierzahlkorrekturen wegen der variierenden Stichtage.

Der Erhebung der Geflügelzahlen 2013 durch das Statistische Bundesamt und die Statistischen Landesämter lag eine Berichtskreisrevision zugrunde. Diese war erforderlich geworden, da in den Erhebungen zuvor (letztmalig 2010) aufgrund der seinerzeitigen Regeln zur Auswahl der zu befragenden Betriebe größere Geflügelbestände nicht erfasst wurden. Die 2013 erhobenen Geflügelzahlen sind damit deutlich höher, als dies aufgrund der Erhebungen in den Jahren zuvor zu erwarten war. Da das Statistische Bundesamt die offiziellen Geflügelzahlen der Vorjahre bis 2010 nicht korrigiert, weisen die im Inventar verwendeten Geflügelzahlen zwischen 2010 und 2013 einen markanten Anstieg auf. Dieser Trend spiegelt wegen der für 2010 und 2013

unterschiedlich erhobenen Tierzahlen keine reale Entwicklung der Geflügelzahlen wieder. Der Anstieg der Geflügelzahlen von 2013 bis 2016 ist erheblich flacher.

Für die Inventarberechnung mussten die Datenlücken geschlossen und die verfügbaren Tierplatzzahlen teilweise modifiziert werden, um den Erfordernissen der Emissionsberichterstattung zu entsprechen. Hierauf sowie auf die Berücksichtigung von Büffeln, Eseln und Maultieren geht Kapitel 5.1.3.2.2 ein.

5.1.3.2.2 Besonderheiten der Tierplatzzahlen im Inventar

Die Rinderbestände werden seit dem Jahr 2008 aus der Datenbank HIT (StMELF, diverse Jahrgänge) des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) entnommen, in der jedes Rind registriert ist. Als Folge der neuen Erhebungsmethode ergeben sich für die Jahre ab 2008 allerdings systematisch höhere Tierzahlen als in den Jahren zuvor, in denen aufgrund von Erfassungsgrenzen nicht alle Tiere berücksichtigt wurden. Ein Vergleich des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2007 zeigt, dass die Rinderzahlen aus HIT 2,9 % höher als nach der herkömmlichen Erhebungsmethode sind (für Milchkühe allein 2,8 %). Laut Statistischem Bundesamt werden die Rinderzeitreihen vor 2008 nicht nachträglich

angepasst. Als Folge werden die Emissionen aus der Rinderhaltung in den Jahren 1990 bis 2007 leicht unterschätzt. Zahlen der Milchkühe und männlichen Rinder > 2 Jahre werden direkt aus der Statistik entnommen. Die Zahl der Mutterkühe enthält bis 2007 auch die Zahl der Schlacht- und Mastkühe (danach wurde diese Kategorie nicht mehr separat erhoben). Die Kälber umfassen im Inventar nur Kälber bis zum Alter von 4 Monaten. In der Statistik werden Kälber aber bis zum Alter von 8 Monaten erfasst (vor 2008 bis zum Alter von 6 Monaten). Daher mussten hier Tierzahlen aus den restlichen Kategorien aus der amtlichen Statistik umgerechechnet werden, was auch Auswirkungen auf die Anzahl der Mastbullen, Schlachtfärsen und der Milchfärsen im Inventar hat (zur Definition von Milch- und Schlachtfärsen sieheKapitel 4.5 in Vos et al. (2022)). Die Gesamtzahl der übrigen Rinder im Inventar entspricht dabei aber immer der Gesamtzahl der erhobenen übrigen Rinder. Zu Details dazu siehe Kap. 4.4.1.1, 4.5.1.1, 4.6.1.1 und 4.7.1.1 in Vos et al. (2022).

Ab Zeitreihenjahr 2013 umfassen die vom Statistischen Bundesamt nach verschiedenen Kategorien (Kalb, Färse, Kuh, etc.) berichteten Rinderzahlen zusätzlich auch eine Aufteilung der Gesamtrinderzahl in Rassen. Darin wird auch die Summe der Bisons und Büffel genannt. Es ist aber nicht möglich, diese Summe so aufzulösen, dass sie auf die verschiedenen Kategorien (Kalb, Färse, Kuh, etc.) aufgeteilt

werden könnte (Spielmanns, 2020). Somit gibt es keine Möglichkeit, die Büffel aus den o. g. Rinderzahlen herauszurechnen. Aus diesem Grund werden die Büffel im Inventar seit Submission 2015 nicht mehr als eigenständige Kategorie geführt (included elsewhere, IE); ihre Emissionen sind in den Emissionen der Rinder enthalten. Dazu war es allerdings erforderlich, auch für die Jahre vor 2013 eine Zuordnung der Büffel zu den Rindern zu finden. Zwar hat das Statistische Bundesamt für diesen Zeitraum keine Büffelzahlen veröffentlicht; die Lücke 2000 bis 2012 konnte aber durch Angaben des Deutschen Büffelverbandes geschlossen werden, sieheKapitel 4.1.1.2 in Vos et al. (2022). Aufgrund der Empfehlung im Abschlussbericht zum „Initial Review under the Kyoto Protocol and Annual 2006 Review under the Convention“ wurde die Zeitreihe der Büffel-Population auf nationaler Ebene für die Jahre vor 2000 durch lineare Extrapolation der Daten der Jahre 2000 bis 2012 vervollständigt. (Für die Jahre 1990 bis 1995 ergaben sich rechnerisch negative Büffelzahlen, die durch Nullen ersetzt wurden.) Da für alle Jahre bis 2012 Informationen über die Struktur der Büffelpopulation fehlen, wurden für diesen Zeitraum alle Büffel der Rinderkategorie „Mutterkühe“ zugeschlagen. Die Berechtigung dieses Vorgehens wird in Kapitel 4.1.1.2 in Vos et al. (2022) nachgewiesen. Die Fehler, die mit der

vorstehend beschriebenen Berücksichtigung der Büffel bei den Rindern möglicherweise verbundenen sind, werden als vernachlässigbar eingeschätzt, da das Verhältnis von Büffel- zu Rinderzahlen für die gesamte Zeitreihe ab 1990 zwischen null und einer Größenordnung von kleiner 0,1 % liegt (siehe Kapitel 4.1.1.2 in Vos et al. (2022)).

Auch bei den Schweinen wurden einige der in den amtlichen Erhebungen verwendeten Kategorien modifiziert, um möglichst homogene Tierkategorien zu bilden. Die offiziellen Tierzahlen für Ferkel bis 20 kg Tier^{-1} sowie Jung- und Mastschweine ab 20 kg Tier^{-1} werden nach dem in Haenel et al. (2011) beschriebenen Verfahren zu Tierzahlen für die Inventarkategorien „Aufzuchtferkel“ und „Mastschweine“ umgerechnet. Diese Umrechnung bleibt ohne Auswirkung auf die Gesamtzahl der Schweine. Letztere wird für die Emissionsberechnung allerdings um die Zahl der Ferkel verringert, die bis 8 kg wiegen. Dieses Vorgehen beruht auf dem Inventarkonzept, dass Ferkel bis 8 kg als Saugferkel zu werten sind, deren Emissionen in den Emissionen der Sauen enthalten sind.

Bei den Schafen werden für alle Jahre ab 2010 die amtlichen Schafzahlen korrigiert, siehe Kap. 6.1.1.1 in Vos et al. (2022). Grund ist der Wechsel des Erhebungstermins vom Frühjahr (bis 2009 Mai bzw. Juni) zum 1. März (2010) bzw. zum 3. November (seit 2011). Die mit diesem Wechsel verbundene scheinbare Abnahme der Lämmer (und damit der Schafe-Gesamtzahl) wird durch die Korrektur ausgeglichen.

Die amtlichen Ziegenzahlen für 2010, 2013, 2016 und 2020 wurden dazu verwendet, die nicht verfügbaren Zahlen von 2011, 2012, 2014,2015 und 2017-2019 durch lineare Interpolation zu schätzen.

Die Pferdezahlen werden im Inventar zur Berücksichtigung unterschiedlichen Emissionsverhaltens in „Großpferde“ und „Kleinpferde und Ponys“ unterteilt. In der Landwirtschaftszählung 2010 sowie den Zählungen 2013, 2016 und 2020 wurden statt Pferdezahlen Equidenzahlen erhoben. Deren Zahl schließt in nicht separierbarer Weise Esel und Maultiere ein (included elsewhere, IE). Seit Submission 2015 entfällt daher im Inventar die separate Kategorie „Esel und Maultiere“. Die Zahl der Esel- und Maultiere wurde bis zum Jahr 2009 zu der Zahl der Kleinpferde und Ponys addiert. Diese Zahl wurde nach Daten der IGEM (Schmutz, 2009) auf 8.500 Esel und Maultiere pro Jahr geschätzt. Datenlücken innerhalb der Pferdezeitreihe wurden durch lineare Interpolation geschlossen.

Junghennen wurden bis 2007 entgegen der Haltungspraxis (Aufstallung als Legehenne bereits nach der 18. Woche, wie es im Inventar auch berücksichtigt ist) offiziell bis zu einem Alter von 6 Monaten gezählt. Daher wurde für das Inventar ein Teil der Junghennen in die Legehennen-Kategorie verschoben, wobei die Gesamtsumme aus Jung- und Legehennen nicht verändert wurde, siehe Kap. 8.3.1 und 8.5.1 in Vos et al. (2022). Die nächste Geflügelzählung nach 2007 fand 2010 statt. Ab dieser Zählung entfällt die Umrechnung zwischen Junghennen und Legehennen, da die Tierzahlen entsprechend der Haltungspraxis erhoben wurden.

Für alle Geflügelkategorien wurden die Lücken in den Tierzahlzeitreihen durch lineare Interpolation geschlossen. (Vos et al., 2022)

Die offiziell erhobenen Putenzahlen wurden im Inventar zur Berücksichtigung unterschiedlichen Wachstums für alle Jahre seit 1990 in Hähne und Hennen aufgeteilt.

5.1.3.2.3 Im Inventar verwendete Tierplatzzahlen (3.A, 3.B)

Die der deutschen Berichterstattung zugrunde liegenden Tierplatzzahlen sind in Tabelle 219 zusammengestellt. Die aufgelisteten Jahre entsprechen den Jahren, die in nachfolgenden Kapiteln bei Zeitreihendarstellungen verwendet werden. Die vollständige Zeitreihe der Tierzahlen findet sich in Kapitel 3.4.2.2 in Vos et al. (2022). Die starke Abnahme der Tierzahlen zu Beginn der 1990er Jahre ist eine direkte Folge des Strukturwandels in der deutschen

Landwirtschaft nach der Wiedervereinigung, insbesondere in Ostdeutschland wurden große Tierbestände abgestockt. Seit 2017 haben die Zahlen der Milchkühe und der übrigen Rinder deutlich abgenommen. Die Milchkuhzahlen liegen damit nach einigen Jahren mit höheren Werten noch etwas unterhalb des bislang niedrigsten Niveaus. Bei den übrigen Rindern setzt die Abnahme den Trend der vorhergehenden Jahre fort. Auch bei den Schweinen ist eine merkliche Abnahme seit 2017 festzustellen nachdem es in den Jahren zuvor keinen einheitlichen Trend gab. Die Ursache für diesen Rückgang kann nicht eindeutig ermittelt werden. Mögliche Gründe sind z.B. der Futtermangel aufgrund der extremen Trockenheit in Deutschland in den Jahren 2018 und 2019 oder eine Reaktion der Landwirte auf die Verschärfungen der Vorschriften in der neuen Düngeverordnung (DüV, 2017). Die Schafzahlen zeigen seit 2014 einen leicht abnehmenden Trend, der sich auch im letzten Zeitreihenjahr fortsetzte. Die Ziegenzahlen zeigen über die gesamte Zeitreihe einen leicht zunehmenden Trend, ebenso die Pferdezahlen seit 2016. Die Geflügelzahlen sind seit 2016 etwa auf einem Niveau geblieben.

Zu den Unsicherheiten der Tierzahlen siehe Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6.

Tabelle 219: Zahl der in die deutsche Berichterstattung eingehenden Tierplätze (3.A, 3.B) in 1.000

[in 1000]	Milchkühe	übrige Rinder	Schweine	Schafe	Ziegen	Pferde	Geflügel
1990	6.355	13.133	26.502	3.266	90	499	113.879
1995	5.229	10.661	20.387	2.991	100	634	111.228
2000	4.570	9.969	21.768	2.743	140	500	120.180
2005	4.236	8.800	22.743	2.643	170	508	120.560
2010	4.183	8.629	22.244	2.245	150	462	128.900
2011	4.190	8.340	22.788	1.980	143	462	145.044
2012	4.190	8.319	23.648	1.966	137	461	161.189
2013	4.268	8.418	23.391	1.877	130	461	177.333
2014	4.296	8.447	23.667	1.892	133	455	176.080
2015	4.285	8.351	22.979	1.867	136	448	174.827
2016	4.218	8.249	22.761	1.851	139	442	173.574
2017	4.199	8.082	22.921	1.863	143	445	173.468
2018	4.101	7.848	22.019	1.846	147	448	173.361
2019	4.012	7.628	21.596	1.814	151	451	173.255
2020	3.921	7.380	21.622	1.780	155	454	173.148

5.1.3.2.4 Vergleich mit Tierzahlen der FAO (3.A, 3.B)

Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) veröffentlicht weltweite Tierzahlen in ihrer Internetdatenbank FAOSTAT (FAO, 2021). Die deutschen Angaben in FAOSTAT stammen grundsätzlich vom Statistischen Bundesamt in Deutschland, der Datenquelle, die auch Grundlage für das deutsche Inventar ist. Dennoch ergibt für Rinder, Schweine, Schafe, Ziegen, Pferde und Geflügel der Vergleich der Daten von FAOSTAT (Stand 3.08.2021: Zeitreihe bis 2019, für Pferde und Geflügel nur bis 2017) und der in Submission 2022 verwendeten Daten zahlreiche Abweichungen: Zwischen 1990 und 2019 stimmen nur rund 14 % der FAOSTAT-Angaben mit den deutschen Daten überein (wenn dabei auch auf ganze 100 Tiere gerundete Zahlen berücksichtigt werden).

Hauptgründe für die zum Teil großen Unterschiede zwischen FAOSTAT und den deutschen Daten sind vor allem Einträge in FAOSTAT unter falschen Jahren und eine unsystematisch erscheinende Vorgehensweise bei der Schließung von Datenlücken in FAOSTAT.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse des Datenvergleichs aufgelistet.

Rinder (incl. Büffel): Die FAOSTAT-Tierzahlen stimmen nur in den Jahren 2014 – 2019 mit den offiziellen deutschen Daten überein. Vor dem Jahr 2000 sind die FAOSTAT-Zahlen um ein Jahr verschoben gegenüber den deutschen Zahlen. So steht z. B. in FAOSTAT unter 1999 die deutsche Rinderzahl von 1998. In den Jahren 2011 – 2013 enthält FAOSTAT die Daten der Mai-Zählung,

während das Inventar aufgrund einer EU-Vorgabe (siehe Kapitel 5.1.3.2.1) die Daten der November-Zählung verwendet.

Schweine: Die FAOSTAT-Schweinezahlen sind generell nicht mit den Schweinezahlen im Inventar zu vergleichen, da im Inventar aus methodischen Gründen die Zahl der Ferkel mit einem Gewicht kleiner aus 8 kg abgezogen wird (siehe Kapitel 5.1.3.2.2). Vergleicht man die FAOSTAT-Zahlen daher mit den Schweinezahlen des Statistischen Bundesamtes *vor Abzug* der Saugferkel, so findet sich wie bei den Rindern in den FAOSTAT-Zahlen vor 2000 eine fehlerhafte Verschiebung um ein Jahr. Mit Ausnahme der Jahre 2011 – 2013, in denen die FAOSTAT-Zahlen der Mai-Zählung entsprechen, während das Inventar aufgrund einer EU-Vorgabe (siehe Kapitel 5.1.3.2.1) mit den Daten der November-Zählung rechnet, besteht eine große Ähnlichkeit zwischen den Tierzahlzeitreihen; eine Übereinstimmung (unter Berücksichtigung der Rundung auf 100 Tierplätze) liegt aber nur für die Jahre 2001 – 2003 und 2007 – 2009 vor.

Schafe: In den Jahren 1991, 1993 – 2000 und 2005 - 2009 sind die FAOSTAT-Zahlen den Daten des Statistischen Bundesamtes sehr ähnlich; eine Übereinstimmung (unter Berücksichtigung der Rundung auf 100 Tierplätze) liegt aber nur für die Jahre 2007 – 2009 vor. In den Jahren 1990, 1992, 1993 sowie 2001 – 2004 gibt es z. T. größere Abweichungen, die mit vorliegenden Informationen nicht erklärbar sind. Ab 2010 ist ein Vergleich der beiden Zeitreihen nicht möglich, da im Inventar die offiziell erhobenen Schafzahlen korrigiert werden (siehe Kapitel 5.1.3.2.2).

Ziegen: Die FAOSTAT-Ziegenzahlen sind für die Jahre 1991 - 2002 einschließlich gegenüber den deutschen Zahlen um ein Jahr versetzt. So gibt z. B. die FAOSTAT-Ziegenzahl 1991 die deutsche Ziegenzahl von 1990 wieder. Für die Jahre 1990, 2003, 2005, 2007, 2008, 2013 und 2016 stimmen die FAOSTAT-Zahlen mit den deutschen Zahlen überein. In den Jahren dazwischen, in denen Deutschland keine Daten erhoben bzw. geschätzt hat, gibt FAOSTAT Daten an, die ihrerseits geschätzt sein müssen, obwohl es sich laut FAOSTAT um offizielle Daten handeln soll. Diese Schätzungen sind insbesondere ab dem Jahr 2011 unplausibel, da sie den durch lineare Interpolation zwischen den Stützjahren geschätzen Trends zuwider laufen.

Pferde (incl. Esel und Maultiere): Die FAOSTAT-Zahlen vor 2010 geben nur die reinen Pferdezahlen ohne Esel und Maultiere wieder. Zieht man daher für einen Vergleich bei den Inventarzahlen die hinzuaddierten Esel und Maultiere (siehe Kapitel 5.1.3.2.2) ab, so ergibt sich, dass die FAOSTAT-Zahlen den deutschen Zahlen bis zum Jahr 2004 um ein Jahr hinterherlaufen, wobei sich allerdings häufig auch die Höhe der Tierzahlen zwischen FAOSTAT und offizieller deutscher Statistik unterscheidet. Ab 2005 gibt es eine Übereinstimmung zwischen FAOSTAT und den deutschen Daten nur für die Jahre 2013 und 2016. In denjenigen Jahren zwischen 2005 und 2016, in denen Deutschland keine Daten erhoben hat, zeigen die FAOSTAT-Schätzungen wie bei den Ziegen einen unplausiblen zeitlichen Verlauf.

Geflügel: In fast allen Jahren mit Tierzählungen stimmen die Geflügelzahlen weitgehend überein (1994, 1999, 2003, 2005, 2007, 2010, 2013 und 2016). Die Ergebnisse der Zählungen der Jahre 1990, 1996 und 2001 sind in FAOSTAT fälschlich im darauffolgenden Jahr eingetragen. Die Schließung der Datenlücken ab 2010 in FAOSTAT ist ähnlich unplausibel wie bei Ziegen und Pferden, woraus sich ein erratischer Zeitverlauf ab 2010 ergibt.

5.1.3.3 Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B)

Aufgrund von Qualitätssicherungsmaßnahmen und der Verfügbarkeit aktualisierter Eingangsdaten wurden gegenüber Submission 2021 zahlreiche Änderungen vorgenommen, die die Eingangsdaten, Leistung, den Energiebedarf und die Futteraufnahme betreffen. Die bzgl. Ihrer Auswirkung relevanten Änderungen finden sich in der nachfolgenden Übersicht. (Für eine vollständige Liste der Änderungen siehe Kapitel 3.5.2 in Vos et al. (2022).

- Landwirtschaftszählung 2020: Für die vorliegende Submission 2022 wurden erstmals einige schon verfügbare Eingangsdaten aus der Landwirtschaftszählung 2020 verwendet, wie z.B. Anteile von Haltungsverfahren, von Lagerungs- und von Ausbringungverfahren für Wirtschaftsdünger und von Weidegang. Dadurch ergeben sich bis zurück in das Jahr 2000 zum Teil erhebliche Änderungen in den berechneten Emissionen im Vergleich zur Vorjahressubmission.
- Milchkühe: (KTBL, 2020)Die Milchleistung und das Schlachtgewicht 2019 wurde für alle Bundesländer in der offiziellen Statistik geringfügig korrigiert. Vos et al. (2022)
- Mutterkühe: Für die Mutterkühe wurde die gesamte Modellierung des Energiebedarfes und der Futteraufnahme aktualisiert, und in Anlehnung an das Milchkuhmodell (Submission 2021) angepasst.
- Färsen: Geringfügige Änderungen der Nährstoffgehalte einiger Futterinhaltsstoffe (Milchleistungsfutter und Rapsextraktionsschrot).
- Mastbullen: In einigen Jahren wurden Schlachtalter und Schlachtgewichte in der HIT-Datenbank (siehe Kapitel 5.1.3.2.2) aktualisiert.
- Vos et al. (2022)Sauen: Für Bayern ergab sich im Jahr 2019 eine Korrektur zu einer etwas niedrigeren Anzahl der Ferkel pro Sau und Jahr.
- Mastschweine: Die Futterkennwerte Rohproteingehalt, Aschegehalt, Verdaulichkeit der organischen Substanz, Verdaulichkeit der Energie, Metabolisierbarkeit und Energiegehalt wurden auf Grundlage von Informationen aus Fachverbänden für die gesamte Zeitreihe angepasst (Emthaus et al., 2021b). Für Bayern wurden 2019 die Anfangs- und Endgewichte aktualisiert.
- Masthähnchen: Die Kennwerte zum Rohproteingehalt des Futters und der Futterverwertung wurden auf Grundlage von Informationen aus Fachverbänden für die gesamte Zeitreihe angepasst (Emthaus et al., 2021a).
- Puten: Die Eingangsdaten der Jahre 2017-2019 wurden aktualisiert, dies betrifft das Schlachtgewicht, Gewichtszunahme und Futterverwertungskoeffizienten.
- Gänse: Da eine aktuellere und nachvollziehbarere Quelle zur N-Ausscheidung von Gänsen verfügbar war wurde der bisherige Wert zur N-Ausscheidung angepasst. Zusätzlich wird jetzt ein N-Eintrag durch Einstreu auch bei Gänsen berücksichtigt.
- Legehennen: Neuinterpolation der Start- und Endgewichte in allen Jahren der Zeitreihe.
- Junghennen: Neuinterpolation des Endgewichtes in allen Jahren der Zeitreihe.

Tabelle 220 zeigt die mittleren Tiergewichte für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel. Das mittlere Tiergewicht der Milchkühe ergibt sich aus Anfangs- und Endgewichten (mit der Tierzahl gewichtet gemittelt über die Bundesländer), siehe Kap. 4.3.1.2 in Vos et al. (2022). Zur Berechnung der mittleren Tiergewichte von übrigen Rindern, Schweinen und Geflügel siehe Kap. 4.9.2.1, 5.7.2 und 8.9.1.2 in Vos et al. (2022).

Tabelle 220: Mittlere Tiergewichte (3.A, 3.B)

[kg Tier-1]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	566,9	581,9	591,1	592,3	592,6	592,3	589,0	586,5	585,0	587,7	584,4	587,3	588,4	595,5	601,3
übrige Rinder	318,5	333,1	343,9	340,8	342,9	340,1	339,0	340,0	339,4	340,9	341,2	341,8	343,4	346,3	348,1
Schweine	66,7	69,0	67,3	67,0	65,3	64,1	63,7	63,6	63,7	63,3	63,3	63,2	63,6	63,2	63,1
Geflügel	1,61	1,60	1,67	1,78	1,79	1,75	1,73	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,69	1,69	1,68

Die Tiergewichte von Schafen, Ziegen und Pferden gehen nicht in die Emissionsberechnungen ein, wurden aber für CRF-3.B geschätzt: Schafe 50 kg Tier^{-1}, Ziegen 40 kg Tier^{-1} und Pferde 490 kg Tier^{-1}, siehe Kap. 6.5.1, 6.6.1 und 7.5.1 in Vos et al. (2022).

Tabelle 221 zeigt die für Deutschland gemittelte tägliche Milchleistung bei Milchkühen, die der jährlichen Milchleistung dividiert durch 365 Tage entspricht. Die geringfügige Abweichung im

Jahr 2019 gegenüber dem NIR 2021 ist eine Folge der oben erwähnten Aktualisierung der Milchleistungsdaten.

Tabelle 221: Mittlere tägliche Milchleistung bei Milchkühen (3.A)

[kg d-1]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchleistung	12,88	14,78	16,60	18,40	19,41	19,84	20,06	20,12	20,66	20,90	21,22	21,27	22,10	22,59	23,17

Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Mutterkühen, Sauen, Aufzuchtferkeln und Mastschweinen wird die Aufnahme der Gesamtenergie (GE) leistungsabhängig berechnet. Siehe dazu folgende Kapitel in Vos et al. (2022): Milchkühe 4.3.3; Milch- und Schlachtfärsen 4.5.3; Mastbullen 4.6.3; Mutterkühe 4.5.3; Sauen 5.3.3; Aufzuchtferkel 5.4.3; Mastschweine 5.5.3. Die Berechnung beruht auf dem IPCC-Konzept (IPCC (2006b Vol 4, Chapter 10.2.2)), dass die Fütterung den tierischen Energiebedarf genau deckt. Der Energiebedarf wird bei der Milchkuh in der Einheit „Netto Energie Laktation (NEL)“ angegeben (siehe Kirchgessner et al. (2008)), während bei den anderen Tieren mit Energiebedarfsberechnung im deutschen Inventar die Einheit „Umsetzbare Energie (ME, metabolic energy)“ verwendet wird (siehe z. B. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006)).

Der NEL- bzw. ME-Bedarf umfasst alle erforderlichen Teilbedarfe (Erhaltung, Wachstum, Nachkommen und Produkte, Weidegang), soweit sie für die jeweilige Tierkategorie relevant sind. Aus dem Energiebedarf und dem mittleren NEL- bzw. ME-Energiegehalt des Futters wird ermittelt, welche Menge Futter bei gegebener Futterzusammensetzung zur Deckung des NEL- bzw. ME-Energiebedarfs aufgenommen wird. Aus der aufgenommenen Futtermenge und dem mittleren GE-Gehalt des Futters wird die vom Tier aufgenommene Gesamtenergie GE berechnet.

Bei der GE-Aufnahme von Ebern handelt es sich um einen Standardwert, bei Kälbern und männlichen Rindern ab 2 Jahren wird die GE-Aufnahme aus Standardwerten der ME-Aufnahme abgeleitet. Siehe dazu folgende Kapitel in Vos et al. (2022): Kälber 4.4.2; männliche Rinder ab 2 Jahren 4.8.2; Eber 5.6.3). Für die übrigen Tierkategorien (Schafe, Ziegen, Pferde, Geflügel) wird keine GE-Aufnahme ermittelt.

Tabelle 222 zeigt für Milchkühe, übrige Rinder sowie Schweine die tägliche Gesamtenergie-Aufnahme GE. Die Abweichungen gegenüber Tabelle 230 im NIR 2021 gehen auf die beschriebenen Änderungen bei der Berechnung von Tierleistung und Fütterung zurück.

Tabelle 222: Mittlere tägliche Gesamtenergie-Aufnahme (GE) (3.A)

[MJ Platz^{-1} d^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	241,3	264,0	283,0	298,8	307,5	310,5	312,5	312,0	316,0	318,9	322,3	322,5	329,4	336,7	342,6
übrige Rinder	100,1	104,0	106,9	106,6	108,1	107,7	107,6	107,8	107,6	108,2	108,2	108,6	109,0	110,0	110,9
Schweine	30,9	32,5	33,4	33,5	34,0	34,3	34,5	34,8	35,1	35,2	35,5	35,7	36,0	36,1	36,4

Tabelle 224 bis Tabelle 226 zeigen für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine die Eingangsdaten für die VS-Berechnung, die der Berechnung der CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (siehe Kapitel 5.3.2.2.1) zugrunde liegt. Es handelt sich um Trockenmasseaufnahme, Verdaulichkeit organischer Substanz und Aschegehalt des Futters. Zu Details der Trockenmasseaufnahme wird auf die tierspezifischen Kapitel in Vos et al. (2022) verwiesen, siehe Tabelle 223. Für Schafe, Ziegen, Pferde und Gänse erfolgt mangels Daten zur Fütterung keine Bestimmung der Trockenmasseaufnahme. Es sind auch keine Standardwerte verfügbar, so dass die VS-Ausscheidungswerte auf andere Weise gewonnen werden, siehe Kapitel 5.1.3.5. Abweichungen gegenüber Submission 2021 sind eine Folge der weiter oben genannten leistungs- und fütterungsbezogenen Änderungen.

Tabelle 223: Beschreibung der Trockenmasse- Aufnahme in Vos et al. (2022)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.3	erwachsene Schafe	---
Kälber	4.4.2	Lämmer	---
Färsen	4.5.3	Ziegen	---
Männliche Mastrinder	4.6.3	Großpferde	---
Mutterkühe	4.7.3	Kleinpferde/Ponys	---
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.2	Legehennen	8.3.4
Sauen	5.3.3	Masthähnchen	8.4.3
Aufzuchtferkel	5.4.3	Junghennen	8.5.4
Mastschweine	5.5.3	Gänse	---
Eber	5.6.3	Enten	8.7.4
		Puten	8.8.2.3

Tabelle 224: Tägliche Trockenmasseaufnahme

[kg $^{-1}$ Platz^{-1} d^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	13,20	14,44	15,47	16,32	16,75	16,90	17,00	16,97	17,17	17,33	17,51	17,52	17,89	18,29	18,55
übrige Rinder	5,47	5,69	5,85	5,84	5,91	5,89	5,88	5,89	5,88	5,91	5,91	5,93	5,96	6,01	6,06
Schweine	1,84	1,94	1,98	2,00	2,05	2,06	2,08	2,09	2,11	2,14	2,16	2,18	2,19	2,20	2,21

Die Ermittlung von mittlerer Verdaulichkeit und mittlerem Aschegehalt des Futters beruht zum überwiegenden Teil auf deutschen Standardwerten für die einzelnen Futterkomponenten (DLG, 2005, 2014), ergänzt um Experteninformationen (Spiekers, 2019). Fehlende Daten wurden anhand anderer Quellen geschätzt (u. a. Beyer et al. (2004); Herstellerangaben). Abweichungen der in Tabelle 225 und Tabelle 226 angegebenen Werte von den entsprechenden Tabellen im NIR 2021 sind eine Folge der weiter oben genannten leistungs- und fütterungsbedingten Änderungen.

Tabelle 225: Verdaulichkeit von organischer Substanz im Futter (3.A)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	75,6	75,5	75,6	75,9	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,9	76,0	76,0
übrige Rinder	74,5	74,3	74,1	74,2	74,1	74,1	74,1	74,1	74,1	74,0	74,1	74,1	74,0	74,0	74,0
Schweine	82,8	82,8	82,8	83,5	84,2	84,2	84,2	84,3	84,3	84,3	84,3	84,3	84,3	84,3	84,3

Tabelle 226: Aschegehalt des Futters

[kg kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	0,084	0,084	0,083	0,082	0,078	0,077	0,077	0,076	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
übrige Rinder	0,089	0,090	0,090	0,090	0,089	0,089	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,087
Schweine	0,060	0,060	0,051	0,049	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048

Weitere Angaben zur Tierhaltung, z. B. zu Ausscheidungen (N, VS), finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

In keinem der verwendeten Tiermodelle wird die mittlere prozentuale Trächtigkeit als Eingangsgröße verwendet. Sie wird der Vollständigkeit halber für Rinder in CRF-Tabelle 3.A berichtet.

5.1.3.4 N-Ausscheidungen (3.B)

Die Ermittlung der N-Ausscheidungen wird in den tierspezifischen Kapiteln in (Vos et al., 2022) Haenel et al. (2020a)beschrieben, siehe Tabelle 227.

Tabelle 227: Beschreibung der N- Ausscheidung in Vos et al. (2022)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.7.1	erwachsene Schafe	6.3.5
Kälber	4.4.6.1	Lämmer	6.4.5
Milch- und Schlachtfärsen	4.5.7.1	Ziegen	6.6.5
Männliche Mastrinder	4.6.7.1	Großpferde	7.3.5
Mutterkühe	4.7.7.1	Kleinpferde/Ponys	7.4.5
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.6.1	Legehennen	8.3.8.1
Sauen	5.3.7.1	Masthähnchen	8.4.7.1
Aufzuchtferkel	5.4.7.1	Junghennen	8.5.8.1
Mastschweine	5.5.7.1	Gänse	8.6.6
Eber	5.6.7.1	Enten	8.7.8.1
		Puten	8.8.6.1

Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Mutterkühen, Schweinen (außer den Ebern), Legehennen, Junghennen, Masthähnchen und -hühnchen, Enten sowie Putenhähnen und Putenhennen werden die N-Ausscheidungen leistungsabhängig berechnet, während für die übrigen Tiere die N-Ausscheidungswerte aus der deutschen Fachliteratur entnommen oder abgeleitet werden.

Die leistungsabhängige Berechnung der N-Ausscheidung basiert auf der Annahme einer Fütterung, die genau den Energiebedarf deckt (siehe Kapitel 5.1.3.3). Die vom Tier aufgenommene N-Menge ergibt sich aus der aufgenommenen Futtermenge und dem mittleren N-Gehalt der Futterration, der den nationalen Fütterungsempfehlungen entspricht. Von der aufgenommenen N-Menge werden die wachstumsbedingte N-Retention, die N-Abgabe über Produkte (Milch/Eier) sowie die N-Verluste durch Trächtigkeit/Nachwuchs abgezogen. Die verbleibende N-Menge ist die N-Ausscheidung:

In die Berechnung der N-Ausscheidung gehen folgende Parameter ein:

- Milchkühe: Milchleistung, Milcheiweiß-Gehalt, Milchfett-Gehalt, Tiergewicht, Gewichtszunahme, Zahl der Geburten pro Jahr, Futtereigenschaften;
- Mutterkühe: Milchleistung, Tiergewicht, Gewichtszunahme, Zahl der Geburten pro Jahr (jeweils konstante Werte), Futtereigenschaften (variabel wegen veränderlicher Weidezeit)
- Milchfärsen, Schlachtfärsen und Mastbullen: Gewichtszunahme, Endgewicht und Futtereigenschaften;Schweine: Tiergewicht; bei Sauen auch Zahl der Ferkel pro Jahr; bei Aufzuchtferkeln und Mastschweinen auch Gewichtszunahme und Futtereigenschaften;
- Legehennen, Junghennen, Enten, Puten: Gewichtszunahme, Endgewicht, Futtereigenschaften; bei Legehennen auch Legeleistung und Eigewicht;
- Masthähnchen und –hühnchen: Brutto-Schlachtfleischmenge, Futtereigenschaften.

Bei Tierkategorien mit Weidegang werden die pro Tierplatz und Jahr berechneten N-Ausscheidungen auf Weide und Stall aufgeteilt, da nur die Ausscheidungen im Stall in die Berechnung der N_2O-Emissionen unter 3.B einfließen. Die N-Ausscheidungen auf der Weide werden in der Berechnung der N_2O-Emissionen unter 3.D berücksichtigt. Die Aufteilung der N-Ausscheidungen zwischen Stall und Weide erfolgt proportional zu den relativen Zeitanteilen, die auf die Haltung im Stall und auf der Weide entfallen (siehe dazu Kapitel 19.3.2, Tabelle 569).

Tabelle 228 zeigt die Zeitreihen der N-Ausscheidungen. Die nicht angegebene N-Ausscheidung der Ziegen ist zeitlich konstant (11,0 kg Platz^{-1} a^{-1}). Bei den übrigen Rindern zeigen sich, bedingt durch die in Kapitel 5.1.3.3 erwähnten Anpassungen des Mutterkuhmodells an deutsche Standardempfehlungen, etwas niedrigere N-Ausscheidungen als im NIR 2021. Die N-Ausscheidungen der Schweine haben sich durch die Aktualisierung der Futterkennwerte der Mastschweine über die gesamte Zeitreihe geringfügig geändert, wie in Kapitel 5.1.3.3

beschrieben. Insbesondere die Änderung der Futterkennwerte der Broiler führen zu geringeren N-Ausscheidungen beim Geflügel als im NIR 2021.

Tabelle 228: N-Ausscheidungen pro Tierplatz und Jahr (3.B(b))

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	92,0	97,9	103,8	108,9	110,3	110,9	111,1	110,5	111,5	112,8	114,2	113,9	116,4	119,5	121,8
übrige Rinder	37,9	39,9	41,3	41,2	42,1	42,0	42,0	42,1	42,2	42,5	42,5	42,7	42,9	43,3	43,7
Schweine	13,0	13,4	13,2	13,0	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	13,0	13,1	13,1	13,1	13,0	13,0
Schafe	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Pferde	48,2	48,1	49,0	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8
Geflügel	0,68	0,65	0,66	0,72	0,74	0,71	0,69	0,65	0,66	0,67	0,68	0,68	0,68	0,67	0,66

Tabelle 229 zeigt die jährlichen N-Ausscheidungen für die vier Wirtschaftsdünger-Managementsysteme „güllebasiert (ohne Vergärung)“, „strohbasiert (ohne Tiefstreu und ohne Vergärung)“, „Tiefstreu (ohne Vergärung)“ und „Vergärung“ sowie für „Weidegang“. Die Änderungen im Vergleich zur Submission 2021 sind zum größten Teil auf die Verwendung von neuen Daten aus der Landwirtschaftszählung 2020 zurückzuführen, siehe Kapitel 5.1.3.3.

Tabelle 229: Jährliche N-Ausscheidungen, aufgeteilt nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b)) und Weidegang (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	1555,1	1336,2	1301,0	1253,9	1246,6	1249,5	1267,5	1280,7	1294,6	1293,0	1283,9	1277,9	1257,0	1245,8	1234,2
güllebasiert [a]	870,5	820,1	803,4	742,3	630,3	612,7	616,9	606,0	612,0	612,1	614,1	613,8	608,0	610,0	610,3
strohbasiert [b]	423,1	292,7	283,5	279,6	287,9	281,0	277,8	272,9	266,6	257,7	247,4	238,4	229,0	219,9	208,4
Tiefstreu [a]	48,4	49,9	53,5	61,3	63,2	65,5	70,1	75,7	80,8	84,2	88,1	91,2	93,7	96,8	99,2
Vergärung	0,04	0,56	4,8	32,4	132,6	161,6	175,3	198,1	206,9	210,8	208,2	210,2	204,8	199,3	199,1
Weidegang	213,1	172,9	155,7	138,3	132,7	128,8	127,4	127,8	128,3	128,2	126,1	124,3	121,6	119,9	117,3

[a] ohne Vergärung

[b] ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

5.1.3.5 VS-Ausscheidungen (3.B)

Die Berechnung der VS-Ausscheidungen erfolgt für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (Ausnahme: Gänse) mit dem nationalen Verfahren von Dämmgen et al. (2011), siehe Kap. 3.3.3.1 in Vos et al. (2022).

Gleichung 5: Berechnung der VS-Ausscheidungen

$$VS_{\,i} = m_{\text{feed, DM, i}} \cdot (1 - X_{\text{DOM, i}}) \cdot (1 - x_{\text{ash, feed}})$$

VS_i	VS-Ausscheidung von Tierkategorie i (in kg Platz^{-1} d^{-1})
$m_{\text{feed, DM, i}}$	Trockenmasse-Aufnahme, Tierkategorie i (in kg Platz^{-1} d^{-1})
$X_{\text{DOM, i}}$	Verdaulichkeit organischer Substanz, Tierkategorie i (in kg kg^{-1})
$X_{\text{ash, i}}$	Aschegehalt des Futters, Tierkategorie i (in kg kg^{-1})

Für Gänse wird die VS-Ausscheidung in Anlehnung an die VS-Ausscheidung von Enten geschätzt, siehe Kap. 8.6.4 in Vos et al. (2022): 0,023 kg pl^{-1} d^{-1}.

Die Eingangsdaten für die VS-Berechnung sind: Trockenmasse-Aufnahme, Verdaulichkeit organischer Substanz und Aschegehalt des Futters; für eine Übersicht für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine siehe Kapitel 5.1.3.3.

Die mit nationalen Eingangsdaten berechneten VS-Ausscheidungen für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel sind in Tabelle 230 dargestellt. Bei den übrigen Rindern zeigen sich, bedingt durch die in Kapitel 5.1.3.3 erwähnten Anpassungen des Mutterkuhmodells leichte Abweichungen von den VS-Ausscheidungen gegenüber dem NIR 2021. Die im selben Kapitel beschriebenen Änderungen des Masthähnchenmodelles haben nur minimale Änderungen der VS-Ausscheidung des Geflügels zur Folge. Die dort angesprochenen Änderungen der

Futterkennwerte für Mastschweine führen zu einer deutlichen Erhöhung der VS-Ausscheidungen der Schweine insgesamt.

Tabelle 230: Tägliche VS-Ausscheidung für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (3.B(a))

[kg Platz^{-1} d^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	2,95	3,24	3,46	3,62	3,73	3,77	3,80	3,80	3,85	3,88	3,91	3,92	3,99	4,06	4,12
übrige Rinder	1,27	1,33	1,38	1,37	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,40	1,40	1,40	1,41	1,42	1,44
Schweine	0,30	0,31	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33
Geflügel	0,022	0,022	0,023	0,026	0,027	0,026	0,025	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025

Tabelle 231 zeigt die täglichen VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde. Siehe dazu Vos et al. (2022), Kapitel 6.3.3, 6.4.3, 6.6.3, 7.3.3 und 7.4.3. Wegen der von Jahr zu Jahr variierenden Populationsanteile der jeweiligen Groß- und Kleintiere ist die mittlere VS-Ausscheidung für Schafe und Pferde zeitlich nicht konstant; die jährliche Variation ist aber sehr gering.

Tabelle 231: Tägliche VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde (3.B(a))

[kg Platz^{-1} d^{-1}]	*VS*	Mittelwert 2020
erwachsene Schafe	0,53	0,41
Lämmer	0,21	
Ziegen	0,30	0,30
Großpferde	2,59	2,39
Kleinpferde und Ponys	1,73	

5.1.3.6 Haltungs-, Lager- und Ausbringungsverfahren (CRF 3.B, 3.D)

5.1.3.6.1 Häufigkeitsverteilungen (3.B, 3.D)

Das deutsche Inventar verwendet, getrennt nach Tier-Unterkategorien, jährliche Häufigkeitsverteilungen von Haltungsformen (Anteile Weidehaltung/Stallhaltung; Anteile von Aufstallungsformen), Wirtschaftsdünger-Lagerungsformen und -Ausbringungstechniken sowie Weidezeiten. Auf Daten zu Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärrestelagerung wird in Kapitel 5.1.3.6.5 eingegangen. Die Datengewinnung und –aufarbeitung für das Inventar auf Ebene der Bundesländer wird in Kap. 3.4.3 in Vos et al. (2022) detailliert beschrieben. Für die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen auf Deutschland-Ebene wird auf Kapitel 19.3.2 im vorliegenden NIR verwiesen.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen für die wichtigen Tierkategorien „Milchkühe“, „übrige Rinder“, „Schweine“ und „Geflügel“ die Aufteilung der Tierpopulation auf die verschiedenen Kategorien von Wirtschaftsdünger-Managementsystemen in Prozent des ausgeschiedenen VS. Durch die Daten der Landwirtschaftszählung 2020 waren erstmals seit 2010 neue Daten zu den Häufigkeiten der Haltungsverfahren verfügbar, siehe Kapitel 5.1.3.3. Daher gibt es in allen Tierkategorien nach 2010 größere Abweichungen im Vergleich mit dem letztjährigen Inventar. Weitere Änderungen gegenüber dem NIR 2021 gehen auf Aktualisierungen der Eingangsdaten für die Wirtschaftsdünger-Vergärung zurück.

Tabelle 232: Güllebasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	53,1	69,5	72,2	70,1	58,9	56,3	55,7	54,2	54,1	54,6	55,6	55,8	56,7	57,9	58,5
übrige Rinder	58,0	55,1	51,4	45,0	35,2	33,9	33,6	33,0	32,7	32,8	32,9	32,8	33,1	33,3	33,3
Schweine	81,5	87,7	89,6	88,8	82,9	81,6	81,3	79,9	79,7	79,3	79,7	79,9	80,2	80,8	81,1

Tabelle 233: Strohbasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	26,8	15,1	14,7	15,3	15,5	14,6	13,9	13,1	12,3	11,6	10,8	10,0	9,2	8,5	7,7
übrige Rinder	19,8	18,4	19,0	20,6	23,9	22,6	21,3	20,1	19,0	18,1	16,9	15,8	14,7	13,6	12,5
Schweine	16,3	10,3	8,4	7,4	6,3	5,8	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,6	3,3	3,0
Geflügel	100,0	99,9	99,6	96,7	89,8	88,6	88,2	86,5	86,2	85,5	85,7	85,9	86,3	86,3	86,1

Tabelle 234: Tiefstreu ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	0,9	1,2	1,6	1,9	2,3	2,7	3,0	3,4	3,8
übrige Rinder	7,3	9,6	10,9	14,0	14,9	15,6	16,5	17,3	18,1	18,7	19,5	20,3	21,1	21,9	22,6
Schweine	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Tabelle 235: Alle Systeme mit Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	0,003	0,053	0,52	3,3	15,3	18,6	20,0	22,1	22,9	23,0	22,8	23,3	23,1	22,5	22,6
übrige Rinder	0,003	0,034	0,28	2,0	7,1	8,8	9,5	10,4	10,7	10,6	10,6	10,9	10,6	10,4	10,5
Schweine	0,002	0,040	0,32	2,4	9,5	11,3	12,1	13,8	14,3	15,0	14,9	15,0	14,9	14,6	14,6
Geflügel	0,004	0,057	0,45	3,3	10,2	11,4	11,8	13,5	13,8	14,5	14,3	14,1	13,7	13,7	13,9

Tabelle 236: Weide, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	20,0	15,2	12,5	11,1	10,1	9,9	9,6	9,4	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3
übrige Rinder	14,9	16,9	18,4	18,5	18,9	19,0	19,1	19,3	19,6	19,9	20,1	20,3	20,5	20,8	21,0

5.1.3.6.2 Einstreu bei Festmistsystemen

Bei Festmistsystemen gelangt mit der Einstreu zusätzlicher Stickstoff ins System, der im Inventar bei der Berechnung der Emissionen von N_2O und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management berücksichtigt wird. Tabelle 569 in Kapitel 19.3.2 zeigt die vom Tierhaltungsverfahren abhängigen Einstreumengen in Frischmasse. Mit einem Trockenmassegehalt von 86 % und einem N-Gehalt der Trockenmasse von 0,58 % (siehe Kapitel 3.3.4.3.2 in Vos et al. (2022)) ergeben sich die in Tabelle 237 nach Tierkategorien angegebenen Einstreu-N- Mengen.

Abweichungen vom NIR 2021 bestehen bei allen Tierkategorien. Bei den übrigen Rindern wird in der vorliegendnen Submission ein höherer N-Eintrag durch Einstreu berichtet, da sich der Anteil an Haltung auf Tiefstreu nach den Daten der Landwirtschaftszählung 2020 deutlich erhöht hat und bei dieser Haltungsform ein höherer Stroheintrag angesetzt wird. Bei den Milchkühen und Schweinen hingegen ist der Anteil der Haltung in güllebasierten Systemen gestiegen, wodurch der Stroheintrag sich in den letzten Jahren reduziert hat.

Tabelle 237: Jahressummen des N-Eintrags durch Einstreu in strohbasierten Systemen

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
gesamt	**52,6**	**40,5**	**38,6**	**38,1**	**39,2**	**38,7**	**39,0**	**39,6**	**40,0**	**39,8**	**39,5**	**39,2**	**38,6**	**38,1**	**37,5**
Milchkühe	17,2	7,6	7,1	6,7	6,8	6,7	6,6	6,7	6,7	6,6	6,3	6,2	6,0	5,8	5,6
übrige Rinder	24,0	21,1	21,4	21,2	22,9	22,5	22,8	23,4	23,9	24,0	24,1	23,9	23,6	23,3	22,9
Schweine	3,18	1,78	1,57	1,40	1,18	1,15	1,13	1,08	1,06	0,98	0,95	0,92	0,86	0,80	0,78
Schafe	0,83	0,75	0,70	0,68	0,58	0,51	0,50	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,45
Ziegen	0,04	0,05	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Pferde	6,54	8,30	6,65	6,75	6,12	6,12	6,12	6,12	6,03	5,95	5,86	5,90	5,94	5,98	6,02
Geflügel	0,82	0,93	1,11	1,28	1,52	1,63	1,74	1,84	1,80	1,75	1,71	1,70	1,68	1,67	1,66

5.1.3.6.3 Maximale Methan-Bildungsrate B_o (3.B(b))

Die mit der Lagerung von Wirtschaftsdünger verbundene Methanbildung wird für die Emissionsberechnung (siehe Kapitel 5.3.2.2.1) durch die tierspezifische maximale Methan-Bildungsrate B_o und den lagerspezifischen Methan-Umwandlungsfaktor *MCF* charakterisiert. Zum *MCF* siehe Kapitel 5.1.3.6.4.

Tabelle 238 zeigt die verwendeten B_o-Werte und die Datenherkunft. Bei Rindern und Schweinen handelt es sich um nationale Daten. Für die übrigen Tiere außer Junghennen und Gänsen wurden IPCC-Default-Werte verwendet. Für Junghennen und Gänse existieren keine IPCC-Default-Werte. Für Junghennen wurde konservativ der (IPCC (2006b): Vol. 4)-Default-Wert der Legehennen angenommen. Für B_o bei Gänsen wird nach Kap. 8.6.4 in Vos et al. (2022) ein Wert von 0,36 m^3 kg^{-1} angesetzt. Das mittlere B_o für Geflügel ist wegen variierender Populationsanteile der verschiedenen Geflügelkategorien keine Konstante, wie Tabelle 239 zeigt.

Tabelle 238: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o (3.B(b))

[m^3 kg^{-1}]	B_o	Quelle
Rinder	0,23	(Dämmgen et al., 2012a)
Schweine	0,30	(Dämmgen et al., 2012a)
Schafe	0,19	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Ziegen	0,18	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Pferde	0,30	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Legehennen	0,39	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Masthähnchen	0,36	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Enten	0,36	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Puten	0,36	(IPCC, 2006b Vol 4, 10.82)
Junghennen	0,39	Annahme (siehe Text)
Gänse	0,36	Kap. 8.6.4 in Vos et al. (2022)

Tabelle 239: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o für Geflügel (3.B(b))

[m^3 kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Geflügel	0,380	0,377	0,374	0,372	0,370	0,370	0,371	0,371	0,371	0,372	0,372	0,372	0,372	0,372	0,373

5.1.3.6.4 Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (3.B)

In CRF 3.B(a) sind unter „Additional Information" die MCF-Werte der nationalen Wirtschafts-dünger-Managementkategorien zu berichten. In Deutschland sind dies „güllebasiert ohne Vergärung", „strohbasiert ohne Vergärung" (Festmistlager), „Tiefstreu ohne Vergärung", „Vergärung" und „Weide". Es handelt sich dabei um gewichtete Mittelwerte über alle Tierkategorien, die auf den nachfolgend beschriebenen MCF-Werten beruhen. Dabei umfasst die Kategorie „güllebasiert ohne Vergärung" alle güllebasiert gehaltenen Tiere, deren Wirtschaftsdünger nicht vergoren wird. Entsprechendes gilt für die Kategorien „strohbasiert ohne Vergärung (Festmistlager)" und „Tiefstreu ohne Vergärung". Die Kategorie „Vergärung" fasst alle Tiere zusammen, deren Wirtschaftsdünger vergoren wird.

In Tabelle 240 sind die MCF-Werte für Rinder nach den in Deutschland gebräuchlichen Lagerungsverfahren dargestellt. Die von Dämmgen et al. (2012a) vorgeschlagenen nationalen Werte sind fettgedruckt. Mangels IPCC-Defaultwerten oder nationalen Werten wurde für „Flüssigmist mit fester Abdeckung" (incl. Zeltstrukturen), „Flüssigmist mit Schwimmdecke aus Strohhäckseln" und „Flüssigmist mit schwimmender Abdeckfolie" konservativ der MCF von „Flüssigmist ohne Schwimmdecke" übernommen. Die Werte für Tiefstreu und Weide wurden aus IPCC (2006b Vol 4, 10.44) übernommen.

Tabelle 240: Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für Rinder (3.B(a))

		MCF [%]
Flüssigmist	Außenlager ohne Abdeckung, ohne Schwimmdecke	**17**
	feste Abdeckung	17
	natürliche Schwimmdecke	**10**
	Schwimmdecke aus Strohhäckseln	17
	schwimmende Abdeckfolie	17
	Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	**17**
Festmist	Tiefstreu	17
	Festmistlager	**2**
Weide		1

Tabelle 241 zeigt die Methan-Umwandlungsfaktoren MCF für die Wirtschaftsdüngerlagerung in der Schweinehaltung. Wie bei den Rindern handelt es sich um nationale Werte (Dämmgen et al., 2012a), Defaultwerte aus IPCC (2006b Vol 4, 10.44) IPCC (2006b)sowie konservative Annahmen in Fällen, in denen kein MCF bekannt ist. Da bei den Rindern der MCF für „Tiefstreu“ gleich dem für Flüssigmist ohne Schwimmdecke ist, wurde dies auch für die Schweine angenommen. Freilandhaltung von Schweinen („Weide“) ist in Deutschland von sehr geringer Bedeutung und wird daher im Inventar nicht berücksichtigt. Etwaige Ausscheidungen auf der Weide sind in den anderen Haltungssystemen enthalten (included elsewhere, IE).

Tabelle 241: Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für Schweine (3.B(a))

		MCF [%]
Flüssigmist	Außenlager ohne Abdeckung, ohne Schwimmdecke	**25**
	feste Abdeckung	25
	natürliche Schwimmdecke	**15**
	Schwimmdecke aus Strohhäckseln	25
	schwimmende Abdeckfolie	25
	Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	**25**
Festmist	Tiefstreu	25
	Festmistlager	**3**

Die mittleren Methan-Umwandlungsfaktoren für güllebasierte Systeme ohne Vergärung bei Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen sind von der Häufigkeit der verschiedenen Haltungsverfahren abhängig und damit nicht konstant, wie Tabelle 242 zeigt.

Tabelle 242: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für güllebasierte Systeme ohne Vergärung (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	14,3	14,0	14,0	14,3	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,8	14,8	14,7	14,7	14,6	14,6
übrige Rinder	14,6	14,4	14,6	14,8	15,1	15,1	15,0	15,0	15,0	14,9	14,9	14,9	14,8	14,8	14,7
Schweine	24,7	23,7	23,6	22,8	22,2	22,3	22,4	22,5	22,6	22,7	22,7	22,8	22,9	23,0	23,1

Für die Wirtschaftsdüngerlagerung der übrigen Tiere (Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel) werden Defaultwerte aus IPCC (2006b Vol 4, 10.44)verwendet (siehe Tabelle 243).

Tabelle 243: Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel (3.B(a))

MCF [%] [a]	
Festmistlager	2
Geflügelmist	1,5
Weide	1

Bei Systemen, deren Wirtschaftsdünger vergoren wird, ergibt sich unter Berücksichtigung von Teilbeiträgen von Vorlager, Fermenter und Gärrestelager ein variabler MCF, siehe Kapitel 5.1.3.6.5.

5.1.3.6.5 Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärreste-Management (3.B)

Nach IPCC (2006b, Vol. 4, Tab. 10.17) gilt die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger und die Lagerung der daraus resultierenden Gärreste insgesamt als eigenständiger Lager-Typ. Dieser wird der deutschen Situation entsprechend für Rinder, Schweine und Geflügel berücksichtigt (Haenel and Wulf (2016); Kap. 3.3.4.4 und 3.4.4 in Vos et al. (2022)). Die Zeitreihen der Aktivitätsdaten wurden durch Grebe et al. (xxxx) insbesondere auf Grundlage von Daten des DBFZ bereitgestellt, aber auch unter Verwendung der für das Inventar berechneten tierischen N-Ausscheidungen.

Gleichung 6 beschreibt am Beispiel von Gülle das von Grebe et al. (xxxx) verwendete Konzept zur Ermittlung der relativen Anteile des in die Vergärung gehenden Wirtschaftsdüngers. Gleichung 6 wird analog auch für Mist (einschließlich N aus Einstreu) angewendet. Die Aggregierung zu „Wirtschaftsdünger insgesamt“ erfolgt mithilfe von Tierzahl und tierspezifischer Produktion von Wirtschaftsdünger.

Gleichung 6: Konzept zur Berechnung der prozentualen Anteile vergorenen Wirtschaftsdüngers an der Gesamtproduktion an Wirtschaftsdünger

$$pct_{\mathrm{SL,dig,i}}(y) = 100 \cdot \frac{SL_{\mathrm{dig,i}}(y)}{SL_{\mathrm{total,i}}(y)} = 100 \cdot \frac{W_{\mathrm{el,dig}}(y) \cdot s_{\mathrm{i}}}{SL_{\mathrm{total,i}}(y)}$$

mit

$pct_{\mathrm{SL,\,dig,\,i}}$	Anteil vergorener Gülle an der Gesamtgülleproduktion der Tierkategorie i (in %)
i	Index der Tierkategorie
y	Jahr (1990, 1991, …)
$SL_{\mathrm{dig,\,i}}$	Stickstoffmenge in vergorener Gülle der Tierkategorie i (in kg a^{-1})
$SL_{\mathrm{total,\,i}}$	Gesamtgülleproduktion (Stickstoffmenge) der Tierkategorie i (in kg a^{-1})
$W_{\mathrm{el,\,dig}}$	jährliche elektrische Arbeit deutscher Biogasanlagen (in GWh_{el} a^{-1})
s_{i}	arbeitsspezifischer Substratinput (Stickstoffmenge) der Tierkategorie i (in kg GWh_{el}^{-1})

Grebe et al. (xxxx) leitete die jährliche elektrische Arbeit $W_{\mathrm{el,\,dig}}$ differenziert nach Bundesländern und Anlagen-Leistungsklassen aus Daten des Biogasanlagenregisters ab. Dabei werden über eine äquivalente elektrische Arbeit auch die Biogasanlagen berücksichtigt, die keinen Strom erzeugen, sondern Biomethan in das Gasnetz einspeisen. Der arbeitsspezifische Substratinput s_{i} wurde anhand der Daten von 1664 Biogasanlagen getrennt für Rindergülle, Rindermist, Schweinegülle und Geflügelmist berechnet. Die Stickstoffmengen $SL_{\mathrm{total,\,i}}$ wurden aus den Tierzahlen und der tierspezifischen Gülle- und Mistproduktion (einschließlich Einstreu) abgeleitet. Die Zeitreihen wurden gegenüber Submission 2021 aktualisiert.

Tabelle 244 zeigt die sich daraus ergebenden aktualisierten Anteile der Vergärung von Rindergülle, Rindermist, Schweinegülle und Geflügelmist sowie des gesamten

Wirtschaftsdüngers aus der Tierhaltung in Prozent der ins Lager gehenden N-Mengen. Für Schweinemist wird keine Vergärung berücksichtigt, da wegen des geringen Aufkommens die Datenlage unsicher ist. Die Abweichungen gegenüber Tabelle 252 NIR 2021 sind sind im Wesentlichen eine Folge der Änderungen der mit dem Inventar berechneten N-Ausscheidungen.

Tabelle 244: Relative Anteile des in die Vergärung gehenden Wirtschaftsdüngers (in % der ins Lager gehenden N-Mengen) für die Tierkategorien mit Wirtschaftsdüngervergärung sowie im gewichteten Mittel für die gesamte Nutztierhaltung

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**0,003**	**0,048**	**0,42**	**2,9**	**11,9**	**14,4**	**15,4**	**17,2**	**17,7**	**18,1**	**18,0**	**18,2**	**18,0**	**17,7**	**17,8**
Rindergülle	0,005	0,066	0,60	4,1	18,4	22,5	24,1	26,5	27,3	27,6	27,3	27,8	27,0	26,0	**26,1**
Rindermist	0,001	0,015	0,13	0,9	3,1	4,0	4,4	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,4	5,4	**5,6**
Schweinegülle	0,003	0,045	0,36	2,6	10,3	12,2	13,0	14,9	15,2	16,0	15,9	15,9	15,8	15,5	**15,4**
Geflügelmist	0,004	0,057	0,44	3,3	10,2	11,4	11,8	13,5	13,8	14,5	14,4	14,1	13,7	13,7	**14,0**

Die Daten aus Tabelle 244 werden auch dafür verwendet, den Anteil der dem Lager zugeführten VS-Mengen zu berechnen, der in die Vergärung geht.

Die Berechnung des Gesamt-MCF für die Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen einschließlich Substrat-Vorlager und Gärrestelagerung erfolgt nach einer nationalen Methodik, siehe Gleichung 7. Zur Ableitung dieser Gleichung siehe Kap. 3.3.4.4.1 in Vos et al. (2022).

Gleichung 7: Berechnung des Gesamt- MCF für die Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen einschließlich Vorlagerung des Substrats und Lagerung der Gärreste

$$MCF\% = MCF\%_{ps} + (100\,\% - MCF\%_{ps}) \cdot \left((1 - \mu_{rg}) \cdot L_{dig} \; + \; \mu_{rg} \cdot \frac{MCF\%_{residues}}{100\,\%} \right)$$

mit

$MCF\%$	Gesamt-MCF für das System “Vorlager + Fermenter + Gärrestelager” (in %)
$MCF\%_{ps}$	MCF für das Vorlager (in %)
μ_{rg}	Restgaspotential bezogen auf B_o (with $0 \le \mu_{rg} \le 1$ m^3 m^{-3})
L_{dig}	relative Leckagerate des Fermenters, bezogen auf die im Fermenter produzierte CH_4-Menge (mit $0 \le L_{dig} \le 1$ m^3 m^{-3})
$MCF\%_{residues}$	MCF für das Gärrestelager (in %)

Tabelle 245 zeigt die Methan-Umwandlungsfaktoren $MCF\%_{ps}$ für das Vorlager. Zur Ableitung siehe Kap. 3.4.4.2.2 in Vos et al. (2022).

Tabelle 245: Methan-Umwandlungsfaktoren für das Vorlager (in Prozent von B_o)

$MCF\%_{ps}$ [%]	
Rindergülle	1,7
Rindermist	0,2
Schweinegülle	2,5
Geflügelkot	0,15

Basierend auf (Grebe et al., xxxx) wurde die auf B_o bezogene potentielle CH_4-Restgasmenge μ_{rg} mit 4,6 % (bzw. 0,046 m^3 m^{-3}) angesetzt, siehe Kap. 3.4.4.2.2 in Vos et al. (2022).

Die Leckagerate des Fermenters Ldig wird in Anlehnung an Bachmaier and Gronauer (2007), Börjesson and Berglund (2007), Gärtner et al. (2008) und Roth et al. (2011) mit 1 % bzw. 0,01 m^3 m^{-3} angesetzt (Grebe et al., xxxx). Das Umweltbundesamt geht in einer Studie von 2016 ebenfalls von einer Leckagerate

von 1 % aus Fehrenbach et al. (2016, p. 113).

Auch beim gasdichten Gärrestelager wird eine Leckagerate unterstellt; es wird angenommen, dass sie der Leckagerate des Fermenters entspricht. Unter Berücksichtigung des relativen Anteils der gasdichten Lager an der gesamten Gärrestelagerung, ergibt sich Gleichung 8.

Gleichung 8: Berechnung des *MCF* für das Gärrestelager

$$MCF\%_{residues} = x_{gts} \cdot (100 \cdot L_{sto,gt}) + (1 - x_{gts}) \cdot MCF\%_{ngts}$$

mit

$MCF\%_{residues}$	MCF für das Gärrestelager (in %)
x_{gts}	relativer Anteil der gasdichten Gärrestelagerung (in kg kg^{-1})
$L_{sto,gt}$	relative Leckagerate bei der gasdichten Gärrestelagerung ($L_{sto,gt} = L_{dig}$)
$MCF\%_{ngts}$	MCF für das nicht gasdichte Gärrestelager (in %)

Gärreste sind im Allgemeinen flüssig. Dabei wird angenommen, dass sich bei der nicht gasdichten Gärrestelagerung aufgrund der Ko-Fermentierung von Energiepflanzen und des damit erhöhten Trockensubstanzgehaltes der Gärreste eine natürliche Schwimmdecke bildet. Die Lagerung ähnelt dabei der offenen Lagerung von unvergorener Rindergülle mit Schwimmdecke. Daher wird für $MCF\%_{ngts}$ der entsprechende MCF für unvergorene Rindergülle verwendet: 10 % (siehe Kapitel 5.1.3.6.4).

Tabelle 246 zeigt den Anteil gasdichter Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten der gesamten Wirtschaftsdünger-Gärrestelagerung in Prozent des eingesetzten N. Diese Daten wurden durch Grebe et al. (xxxx) aus den Gärsubstratinputmengen nach Ländern und Anlagenleistungsklassen und dem Anteil der Biogasanlagen mit gasdicht abgedeckten Gärrestlagern nach Leistungsklassen in Deutschland abgeleitet. Der starke Anstieg in der Verbreitung der gasdichten Gärrestlagerung von 2011 zu 2012 wird auf das Energieeinspeisegesetz 2012 zurückgeführt, das für alle Gärrestlager, die ab 1. Januar 2012 in Betrieb genommen wurden, eine gasdichte Abdeckung vorschreibt. Die Prozentwerte für die gasdichte Abdeckung im Jahr 2019 wurden gegenüber Submission 2021 aktualisiert; dadurch ergibt sich eine um rund 0,6 Prozentpunkte höhere Verbreitung der gasdichten Abdeckung. Für 2020 wurden mangels Daten die Werte von 2019 beibehalten.

Tabelle 246: Anteile der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der in Biogasanlagen eingesetzten N-Mengen)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
gasdicht	0,0	4,5	9,1	15,2	40,6	45,6	57,0	59,1	60,9	61,6	61,9	61,8	62,2	62,8	62,8
nicht gasdicht	100,0	95,5	90,9	84,8	59,4	54,4	43,0	40,9	39,1	38,4	38,1	38,2	37,8	37,2	37,2

Die sich aus Gleichung 7 ergebenden Gesamt-MCF-Werte der Systeme "Vorlager + Fermenter + Gärrestelager" bei Milchkühen, übrigen Rindern, Schweinen und Geflügel sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 247: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Wirtschaftsdüngersysteme mit Vergärung (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	2,99	3,01	3,00	2,97	2,87	2,85	2,81	2,80	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79
übrige Rinder	2,98	2,89	2,85	2,79	2,67	2,64	2,59	2,58	2,57	2,56	2,56	2,56	2,55	2,55	2,54
Schweine	3,88	3,86	3,84	3,82	3,71	3,69	3,65	3,64	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,62	3,62
Geflügel	1,56	1,54	1,53	1,50	1,40	1,38	1,33	1,33	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31

Die mit der Vergärung verbundene Minderung der CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management hängt vom Anteil des Wirtschaftsdüngers, der vergoren wird, und von der relativen

Häufigkeit gasdichter Gärrestelager ab. Die sich in Deutschland ergebenden Minderungen sind in Kapitel 5.3.2.2.3, wiedergegeben.

Tabelle 248 zeigt, welche N_2O-Emissionen für die verschiedenen Teilsysteme und Wirtschaftsdünger im Inventar berücksichtigt werden. Zu Details siehe Kap. 3.3.4.4.2 in Vos et al. (2022).

N_2O-, und NO-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden als Folge der Ausbringung der Gärreste werden in Kapitel 5.5 beschrieben.

Tabelle 248: Berechnung der N_2O-Emissionen aus der Vergärung

		Gülle	Mist/Geflügelkot
Vorlager		0	Gleichung 9
Fermenter		0	0
Gärrestelager	gasdicht	0	0
	nicht gasdicht	Gleichung 10	Gleichung 10

Gleichung 9: Berechnung der N_2O-Emissionen aus dem Vorlager für Mist und Geflügelkot

$$E_{\text{N2O-N, dig,ps}} = (N_{\text{excr, dig}} + N_{\text{straw,dig}}) \cdot EF_{\text{N2O-N, dig,ps}}$$

mit

$E_{\text{N2O-N, dig, ps}}$	N-Verlust durch N_2O-Emissionen aus dem Vorlager von Mist oder Geflügelkot (in kg N_2O-N a^{-1})
$N_{\text{excr, dig}}$	Anteil der jährlichen N-Ausscheidung im Stall, der in die Vergärung geht (in kg a^{-1})
$N_{\text{straw, dig}}$	Anteil des jährlichen N-Eintrags durch Einstreu, der in die Vergärung geht (in kg a^{-1})
$EF_{\text{N2O-N, dig, ps}}$	N_2O-N-Emissionsfaktor für die Vorlagerung von Mist oder Geflügelkot (in kg N_2O-N pro kg N)

Gleichung 10: Berechnung der N_2O-Emissionen aus dem nicht gasdichten Gärrestelager

$$E_{\text{N2O-N, dig,ngts}} = (1 - x_{\text{gts}}) \cdot N_{\text{tot,dig,ferm}} \cdot EF_{\text{N2O-N, dig,ngts}}$$

mit

$E_{\text{N2O-N, dig, ngts}}$	N-Verlust durch N_2O-Emissionen aus dem nicht gasdichten Gärrestelager (in kg N_2O-N a^{-1})
x_{gts}	relativer Anteil der gasdichten Gärrestelagerung (in kg kg^{-1})
$N_{\text{tot, dig, ferm}}$	Gesamte Gärreste-N-Menge beim Verlassen des Fermenters (in kg a^{-1})
$EF_{\text{N2O-N, dig, ngts}}$	N_2O-N-Emissionsfaktor für das nicht gasdichte Gärrestelager (in kg N_2O-N pro kg N)

Die im Inventar verwendeten N_2O-Emissionsfaktoren gehen aus Tabelle 249 hervor. Zu ihrer Ableitung wird auf Kap. 3.4.4.2.3 in Vos et al. (2022) verwiesen.

Tabelle 249: N_2O-N-Emissionsfaktoren für Vorlager und Gärrestelager

	[kg kg^{-1}]	Mist	Geflügelkot
Vorlager	$EF_{\text{N2O-N, dig, ps}}$	0,001	0,0001
Gärrestelager, nicht gasdicht	$EF_{\text{N2O-N, dig, ngts}}$	0,005	0,005

Die N-Menge in den Gärresten zu Beginn der Lagerung ($N_{\text{tot, dig, ferm}}$) berechnet sich unter Berücksichtigung der N-Verluste aus dem Vorlager. Für den Fermenter wird davon ausgegangen, dass keine N-Verluste auftreten.

Die im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung entstehenden NO-Emissionen werden analog zu den N_2O-Emissionen berechnet. Wie im deutschen Inventar im Bereich Wirtschaftsdünger-Management üblich, siehe Kap. 3.3.4.3.5 in Vos et al. (2022 eq. 3.56), wird angenommen, dass der NO-N-Emissionsfaktor ein Zehntel des N_2O-N-Emissionsfaktors beträgt.

Für die Berechnung der indirekten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden infolge der Deposition reaktiven Stickstoffs (siehe Kapitel 5.5.2.1.2) ist auch die Berechnung der NH_3-Emissionen erforderlich, die im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung entstehen. Für die Vorlagerung von Mist und Geflügelkot, das nicht gasdichte Gärrestelager und die Ausbringung der Gärreste werden NH_3-Emissionen berechnet. Dagegen wird für die Vorlagerung von Gülle, den Fermenter sowie die gasdichte Lagerung der Gärreste davon ausgegangen, dass keine NH_3-Emissionen entstehen oder dass sie vernachlässigbar sind. Zu Details der umfangreichen NH_3-Berechnungsmethodik wird auf Kap. 3.3.4.4.3 und 3.4.4.2.4 in Vos et al. (2022) verwiesen.

5.1.4 Vergärung von Energiepflanzen: Konzept und Aktivitätsdaten

5.1.4.1 Konzept und Berücksichtigung in den CRF-Tabellen

Das Inventar berücksichtigt die in Deutschland mengenmäßig relevanten sechs Energiepflanzen-Kategorien Maissilage, Grassilage, Ganzpflanzensilage, Weizenkorn, Roggenkorn und Corn-Cob-Mix (CCM). Sie unterscheiden sich nur wenig in ihren wesentlichen Eigenschaften (N- und VS-Gehalt der Trockenmasse, maximales Methanausbeute-Potenzial B_o, siehe (Grebe et al., xxxx). Dies erlaubt die Behandlung der Gesamttrockenmasse aller berücksichtigten Energiepflanzen als eine einzige Energiepflanzenkategorie. Die Emissionsberechnung erfolgt analog zur Vergärung von Mist (siehe Kapitel 5.1.3.6.5), allerdings ohne Vorlager.

Trotz der in der Praxis als Regelfall vorkommenden gemeinsamen Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen werden die Emissionen, die im Zusammenhang mit der Vergärung dieser beiden Substratkategorien stehen, getrennt berechnet, um den Beitrag der Energiepflanzenvergärung zur Treibhausgasbilanz besser sichtbar werden zu lassen.

Zu weiteren Details der Emissionsberechnung im Zusammenhang mit der Vergärung von Energiepflanzen siehe Kap. 3.3.5, 3.4.4.1 und insbesondere Kap. 10 in Vos et al. (2022).

Berichtet werden folgende Emissionen, die sich als direkte oder indirekte Folge aus der Vergärung von Energiepflanzen sowie der Gärrestelagerung und -ausbringung ergeben:

Fermenter (in 3.J)

- CH_4 (durch Leckage)

Lagerung (in 3.J)

- CH_4 (durch Leckage)
- direktes N_2O
- indirektes N_2O als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus der Lagerung
- NO

Ausbringung (in 3.D)

- direktes N_2O
- indirektes N_2O als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus der Ausbringung
- indirektes N_2O durch Auswaschung/Oberflächenabfluss des mit den Gärresten ausgebrachten Stickstoffs
- NO

Die Emissionen aus Fermenter und Gärrestelager (CH_4, N_2O, indirektes N_2O aus der Deposition von NH_3 und NO aus der Lagerung) werden in Kapitel 5.9 beschrieben und unter 3.J in CRF-Tabelle 3s2 berichtet. Die direkten und indirekten N_2O-Emissionen als Folge der Gärreste-Ausbringung werden in Kapitel 5.5 beschrieben und unter 3.D berichtet (CRF 3.D: a.2.c, b.1 und b.2). Die als Folge der Gärreste-Ausbringung entstehenden NO-Emissionen werden als NO_x-Emissionen ebenfalls unter 3.D berichtet.

5.1.4.2 Aktivitätsdaten und Parameter

Als Aktivitätsdaten für die Berechnung der Emissionen werden die der Vergärung zugeführten Trockenmasse-Gesamtmengen der Energiepflanzen verwendet, siehe Tabelle 250. Die zugrunde liegenden Substratmengen wurden im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung abgeleitet und bereitgestellt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Die Daten für 2019 wurden gegenüber dem NIR 2021 durch (Grebe et al., xxxx) aktualisiert. Dabei ergab sich eine minimale Erhöhung in 2019. Mangels Daten für 2020 wurden die Werte von 2019 beibehalten.

Tabelle 250: Gesamte Trockenmasse der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	3,4	43,9	380,8	3,216	11,619	14,492	15,870,	19,194	20,089	20,865	20,750	20,410	20,111	20,120	20,120

Aus den B_o-Werten der sechs Energiepflanzen-Kategorien (siehe Kapitel 5.1.4.1) wurde unter Berücksichtigung des IPCC-Defaultwertes für die Dichte von Methan (0,67 kg m^{-3}) ein gewichtet gemittelter B_o-Wert von 0,36 m^3 kg^{-1} abgeleitet. Als gewichtete Mittelwerte der VS- und N-Gehalte ergaben sich (bezogen auf die Trockenmasse): VS-Gehalt 0,947 kg kg^{-1}, N-Gehalt 0,0148 kg kg^{-1}.

Aus der Multiplikation der Trockenmasse mit dem mittleren VS-Gehalt ergibt sich die für die Berechnung der CH_4-Emissionen benötigte VS-Menge, siehe Tabelle 251.

Tabelle 251: Gesamte VS-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	3,2	41,6	360,6	3,045	11,003	13,724	15,029	18,176	19,025	19,759	19,650	19,329	19,045	19,053	19,053

Mithilfe des mittleren N-Gehaltes erhält man die für die Berechnung von N-Emissionen benötigten N-Mengen, siehe Tabelle 252.

Tabelle 252: Gesamte N-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	0,05	0,65	5,6	47,6	172,0	214,5	234,9	284,1	297,3	308,8	307,1	302,1	297,6	297,8	297,8

Die Leckageraten für Fermenter und gasdichtes Gärrestelager werden nach Grebe et al. (xxxx) wie bei der Vergärung von Wirtschaftsdünger angesetzt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5).

Tabelle 253 zeigt den Anteil der gasdichten Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in Prozent der eingesetzten Frischmasse (Grebe et al., xxxx). Gegenüber Submission 2021 wurden die Daten für 2019 aktualisiert. Da für 2020 keine Daten für die Häufigkeit einer gasdichten Abdeckung verfügbar waren, wurde der Wert von 2019 beibehalten. Der starke Anstieg in der Verbreitung der gasdichten Gärrestlagerung von 2011 zu 2012 wird auf das Energieeinspeisegesetz 2012 zurückgeführt, das für alle Gärrestlager, die ab 1. Januar 2012 in Betrieb genommen wurden, eine gasdichte Abdeckung vorschreibt. Die Daten unterscheiden sich etwas von denen bei der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten (siehe Tabelle 246). Dies ist darauf zurück zu führen, dass der Gesamtanteil von Energiepflanzen am Substratmix von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen mit der Anlagengröße zunimmt, was auch für den Abdeckungsgrad der Gärrestelager gilt.

Tabelle 253: Anteil der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der zur Vergärung eingesetzten Frischmasse)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
gasdicht	0,0	4,7	9,4	15,8	42,2	47,5	59,4	61,9	63,9	64,6	64,8	64,5	64,8	65,5	65,5
nicht gasdicht	100,0	95,3	90,6	84,2	57,8	52,5	40,6	38,1	36,1	35,4	35,2	35,5	35,2	34,5	34,5

Die Ausbringung erfolgt mit verschiedenen Techniken und unterschiedlichen Einarbeitungszeiten auf Ackerland und Grünland, verbunden mit unterschiedlichen NH_3-Emissionsfaktoren. Für die Berechnung der direkten N_2O-Emissionen aus der Gärrestausbringung ist lediglich die zur Ausbringung kommende N-Menge relevant; die indirekten N_2O-Emissionen aus der ausbringungsbedingten Deposition reaktiven Stickstoffs hängen dagegen von der Gesamt-NH_3-Emission aus der Gärrestausbringung und damit von den relativen Häufigkeiten der Ausbringungstechniken und Einarbeitungszeiten ab. Diese relativen Häufigkeiten stammen aus Erhebungen des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2011 (für das Jahr 2010),2016 (für das Jahr 2015) und 2020, siehe Kapitel 19.3.2, Tabelle 571.

5.1.5 Konzept und Aktivitätsdaten für Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Kulturen

5.1.5.1 N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (3.D)

5.1.5.1.1 Konzept für die Berechnung direkter Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden

Mit der vorliegenden Submission 2022 werden erstmals Tier-2-Emissionsfaktoren für direkte N_2O-Emissionen aus der Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Gärresten sowie für N_2O-Emissionen aus Ernterückständen verwendet. Die Tier-2-Emissionsfaktoren sind auf NUTS-3 Ebene regional unterschiedlich und wurden abgeleitet von Mathivanan et al. (2021). Details zur Aufteilung der N-Mengen auf NUTS-3 Ebene sind in Kapitel 5.1.5.1.2 erläutert, die Ableitung der Emissionsfaktoren wird in Kapitel 5.5.2.1.1 dargestellt. Für N_2O-Emissionen aus Mineralisierung von organischer Substanz in Mineralböden und Weidegang werden weiterhin die Tier-1-Emissionsfaktoren aus IPCC (2006b) verwendet. Für Mineralisierung in organischen Böden werden die Tier-2 Emissionsfaktoren aus Tiemeyer et al. (2020a) verwendet.

5.1.5.1.2 Den direkten N_2O-Emissionen zugrunde liegende N-Mengen (3.D)

Tabelle 254 gibt die aus verschiedenen Quellen stammenden N-Mengen an, die der Berechnung der direkten N_2O-Emissionen (siehe Kapitel 5.5.2.1.1) zugrunde gelegt werden.

Tabelle 254: N-Mengen, die der Berechnung der direkten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zugrunde liegen (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mineraldünger	2195,5	1723,0	1921,7	1796,7	1635,4	1665,3	1691,9	1654,8	1715,6	1736,2	1730,7	1622,0	1499,3	1403,7	1362,2
Wirtschaftsdünger incl. W.- Gärreste	1119,5	972,3	953,8	923,8	927,8	933,5	949,3	960,8	972,4	971,5	965,6	961,5	947,3	939,8	932,4
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,6	5,4	45,8	167,4	209,3	230,5	279,1	292,4	303,8	302,2	297,2	292,9	293,1	293,1
Klärschlämme	27,4	35,3	33,0	27,4	26,0	25,1	25,0	21,5	21,3	18,7	18,7	14,1	12,5	14,3	14,3
Weidegang	213,1	172,9	155,7	138,3	132,7	128,8	127,4	127,8	128,3	128,2	126,1	124,3	121,6	119,9	117,3
Ernterückstände	485,3	498,3	560,4	587,1	572,7	560,3	604,9	604,8	689,1	606,0	588,7	620,7	499,2	558,9	574,5
Mineralisierung	2,5	2,4	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8

Da keine Daten zur Mineraldüngerausbringung erhoben werden, setzt das Inventar die N-Mengen der Mineraldüngerausbringung den offiziell erfassten N-Mengen des Mineraldüngerverkaufs gleich. Diese Erfassung erfolgt um ein halbes Jahr versetzt gegenüber dem Kalenderjahr. Für das Inventar wird zunächst die gesamte im zweiten Halbjahr des Jahres j-1 und im ersten Halbjahr des Jahres j verkaufte

Mineraldüngermenge dem Jahr j zugeordnet. Um im Inventar Lagereffekte zu approximieren, erfolgt danach seit der Submission 2021 eine jahresübergreifende Mittelung der Mineraldüngerdaten (gleitendes zentriertes Dreijahresmittel für 1990 bis 2019; für 2020 gewichtetes Mittel aus 2019 mit Wichtung 1/3 und 2020 mit Wichtung 2/3). Dieses Vorgehen folgt dem Beispiel von Österreich (Mittelung über zwei Jahre) und Frankreich (Mittelung über drei Jahre) (UNFCCC, 2021a).

Die N-Menge im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger wird mit Hilfe des N-Fluss-Konzepts (siehe Kapitel 3.3.4.3.1 in Vos et al. (2022)) berechnet: Wie Tabelle 255 Emissionen aus der Ausbringung von vergärten und kompostierten anderen Stoffe, z. B. von Lebensmittelabfällen und Grünschnitt, werden im Abfall-Sektor 5.B.2 (siehe Kapitel 7.3.2) berichtet.

Änderungen gegenüber dem NIR 2021 sind eine Folge der Aktualisierung von Eingangsdaten und Tiermodellen, siehe Kapitel 5.1.3.2.3, 5.1.3.3 und 5.1.3.6.5.

Um die direkten N_2O-Emissionen aus Böden zu berechnen, werden N-Einträge für die NUTS-3-Regionen benötig. Die Verteilung der Wirtschaftsdünger und Gärreste wird im Inventarmodell aus Aktivitätsdaten auf NUTS-3-Ebene berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass der Wirtschaftsdünger in der NUTS-3-Region ausgebracht wird, in der er anfällt. Die N-Menge in Klärschlämmen liegt für Bundesländer (NUTS-1-Regionen) vor und wird vom statistischen Bundesamt jährlich zur Verfügung gestellt. Sie wird den NUTS-3 Regionen entsprechend ihrer Bevölkerungszahl zugewiesen.

Die ausgebrachte Menge an Mineraldüngern in den NUTS-3-Regionen wurde mit Hilfe des Regionalisierten Agrar und Umweltinformationssystems (RAUMIS, (Henrichsmeyer et al., 1996)) für das Mittel der Jahre 2014-2016 modelliert, siehe (Mathivanan et al., 2021) für eine detaillierte Beschreibung. Für die Mineraldünger N-Einträge der verschiedenen Zeitreihenjahre wurde angenommen, dass der Anteil der N-Menge einer NUTS-3-Regionan an der national verkauften N-Menge in synthetischen Düngern in allen Jahren so hoch ist wie im Jahr 2015, für das die mit RAUMIS modellierte Aufteilung vorliegt. Die Anteile der NUTS-3 Regionen an der nationalen Gesamt-N-Menge in synthetischen Düngern ist auf der Karte in Abbildung 46 dargestellt.(Mathivanan et al., 2021)

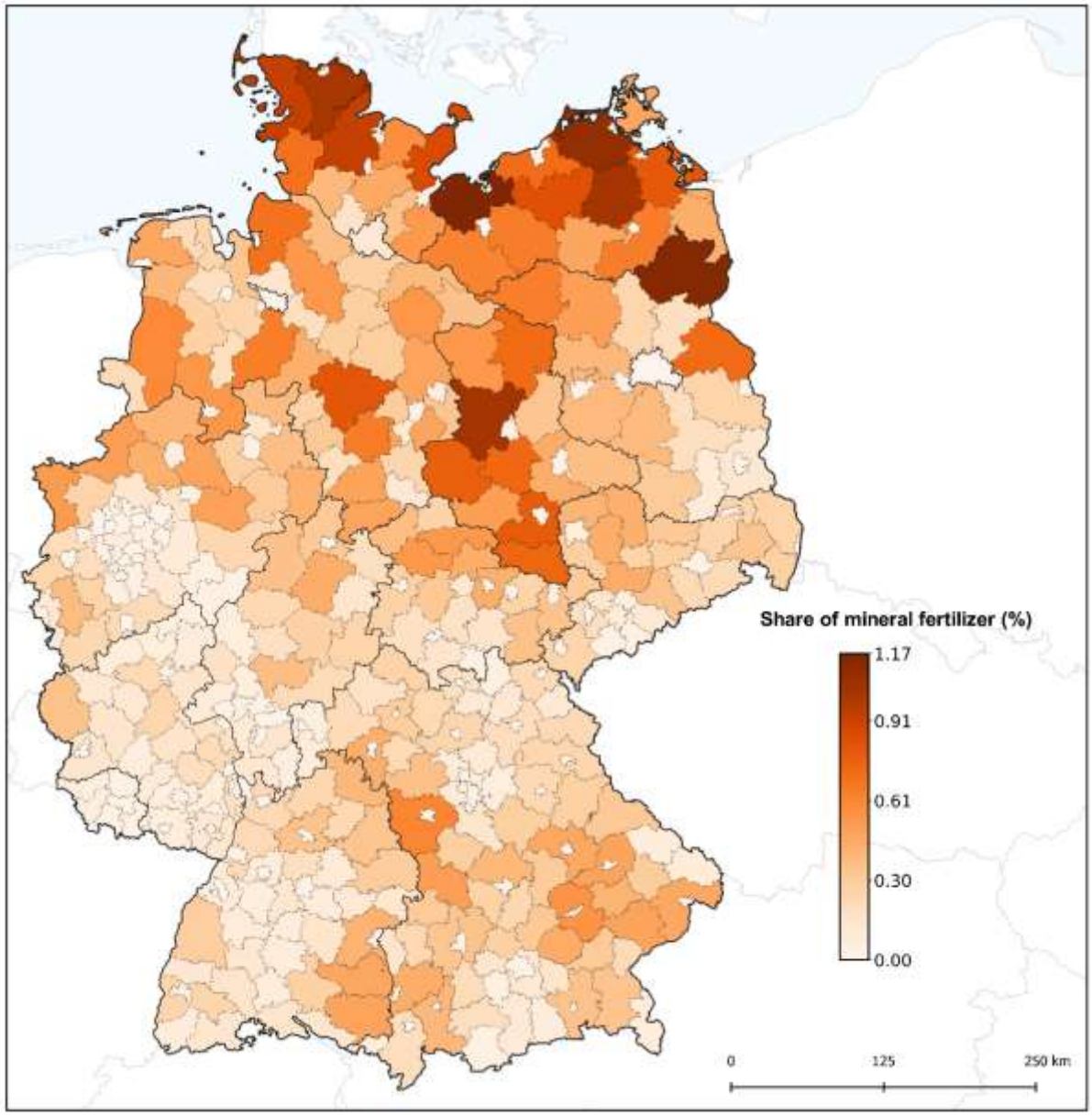


Abbildung 46: Anteil der NUTS-3 Regionen am nationalen Mineraldüngeraufkommen im Mittel der Jahre 2014-2016.

Tabelle 255: Berechnung der N-Mengen im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger (einschließlich Wirtschaftsdünger-Gärreste) (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
N-Ausscheidungen [a]	1342,0	1163,3	1145,3	1115,6	1114,0	1120,8	1140,1	1152,8	1166,3	1164,8	1157,8	1153,6	1135,4	1125,9	1116,9
+ Einstreu-N [b]	52,6	40,5	38,6	38,1	39,2	38,7	39,0	39,6	40,0	39,8	39,5	39,2	38,6	38,1	37,5
- (NH_3-N + NO-N) [c]	-254,1	-212,6	-211,6	-211,6	-207,2	-208,2	-212,3	-214,2	-216,3	-215,6	-214,2	-214,1	-209,8	-207,5	-205,6
- N_2O-N [d]	-5,3	-4,7	-4,6	-4,6	-4,5	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,3	-4,3	-4,2	-4,2	-4,2
- N_2 [e]	-15,8	-14,2	-13,8	-13,7	-13,6	-13,3	-13,1	-13,1	-13,2	-13,1	-13,0	-12,9	-12,7	-12,6	-12,5
Ergebnis	**1119,5**	**972,3**	**953,8**	**923,8**	**927,8**	**933,5**	**949,3**	**960,8**	**972,4**	**971,5**	**965,6**	**961,5**	**947,3**	**939,8**	**932,2**

[a] Gesamt-N-Ausscheidungen nach Abzug der Ausscheidungen beim Weidegang, siehe Tabelle 229 im vorliegenden NIR (entspricht der Summe der Zeile 38 in CRF Table 3.B(b))

[b] siehe Tabelle 237 im vorliegenden NIR

[c] siehe Zelle O37 in CRF Table 3.B(b)

[d] siehe Tabelle 296 im vorliegenden NIR (entspricht Zelle T40 in CRF Table 3.B(b), multipliziert mit Molgewichtsverhältnis 28/44)

[e] N_2-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Mangement werden als das Dreifache der N_2O-N-Emissionen berechnet (siehe Vos et al. (2022), Kapitel 3.3.4.3.5, Gleichung (3.58))

Die N-Menge, die mit Energiepflanzen-Gärresten ausgebracht wird, ergibt sich aus der N-Menge in den zur Vergärung eingesetzten Energiepflanzen abzüglich der N-Verluste durch Emissionen aus dem Gärrestelager.

Die N-Menge der Klärschlammausbringung wird für jedes Bundesland aus Aufstellungen des Umweltbundesamtes (Fachgebiet III 3.3) bzw. seit 2009 des Statistischen Bundesamtes (Referat G 202) entnommen. Da für 2020 keine Daten verfügbar waren, wurde der Wert von 2019 beibehalten.

Die Berechnung direkter N_2O-Emissionen infolge von N-Ausscheidungen beim Weidegang erfolgt proportional zu der auf der Weide ausgeschiedenen N-Menge (siehe Kapitel 5.1.3.4).

Die durch Ernterückstände im Boden verbleibenden N-Mengen ergeben sich aus den Anbauflächen, den Erträgen und den kulturspezifischen N-Gehalten. Daten zu Anbauflächen und Frischmasseerträgen berichtet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3a). Die Umrechnung in Trockenmasseerträge erfolgt mithilfe von Trockenmassegehalten aus der Düngeverordnung (DüV, 2017). Die Werte der in den Ernterückständen enthaltenen relativen N-Gehalte werden der Düngeverordnung (DüV, 2007, 2017) sowie einer Aufstellung des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (Feller et al., 2011) entnommen. Die mit Stroh als Einstreu für die Tierhaltung von der Fläche entfernten N-Mengen werden abgezogen. Zu Eingangsdaten und Berechnungsmethodik siehe Kap. 11.7 in Vos et al. (2022)

Die Ermittlung der N-Mineralisierung in mineralischen Ackerböden ist im vorliegenden NIR in Kapitel 6 beschrieben (siehe Kapitel 6.1.2.7, 6.1.2.8 und 6.5.2.3.2).

Bei folgenden Eingangsdaten, N-Mengen, die der Berechnung der direkten N_2O-Emissionen zugrunde liegen, ergaben sich Änderungen im Vergleich zur Submission2021:

- **Landwirtschaftszählung 2020:** Für die vorliegende Submission 2022 wurden erstmals einige schon verfügbare Eingangsdaten aus der Landwirtschaftszählung 2020 verwendet, wie z.B. Anteile von Haltungsverfahren, Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Weidegang. Dadurch ergeben sich bis zurück in das Jahr 2000 zum Teil erhebliche Änderungen in den berechneten ausgebrachten Stickstoffmengen. Abbildung 47 stellt beispielhaft die Änderung der Ausbringungsverfahren für flüssige Wirtschaftsdünger zwischen 2015 und 2020 dar.

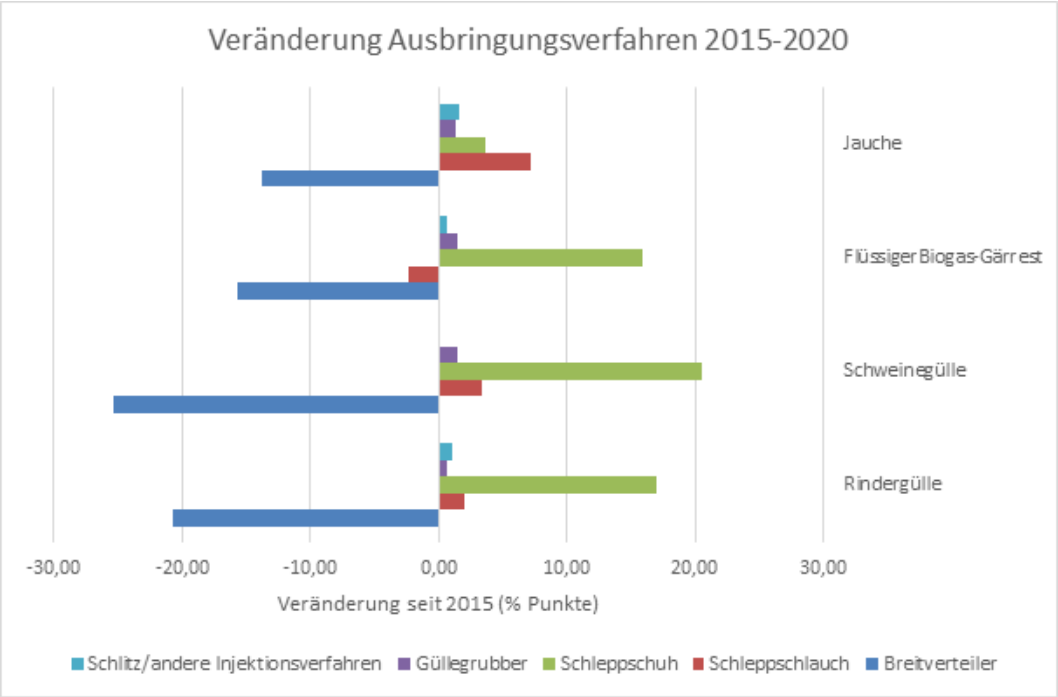


Abbildung 47: Veränderungen in der Wirtschaftsdüngerausbringung zwischen 2015 und 2020

- **Energiepflanzen-Gärreste:** Für das Jahr 2019 wurde die Gesamtmasse der vergorenen Energiepflanzen gegenüber dem NIR 2021 aktualisiert, siehe Kapitel 5.1.4.2. Dabei ergab sich ein leichter Anstieg.
- **Klärschlämme:** Die im NIR 2021 für das Jahr 2019 extrapolierte Klärschlammmenge wurde durch Werte der offiziellen Statistik ersetzt.
- **Weidegang:** Die N-Mengen sind in allen Jahren niedriger als im NIR 2021. Dies resultiert zum einen aus den neuen Zahlen zum Weidegang aus der Landwirtschaftszählung 2020 und zum anderen aus der Aktualisierung des Mutterkuhmodells.
- **Ernterückstände:** In allen Jahren ab 2000 ist eine Absenkung der N-Menge zu verzeichnen. Der Hauptgrund hierfür ist der vergrößerte Abzug von Stroh wegen der Anhebung der Anteile der Tierhaltung auf Tiefstreu, der durch die erstmalige Verwendung der Daten aus der Landwirtschaftszählung 2020 auftritt.

- N-Mineralisierung in Mineralböden: Die Daten für die N-Mineralisierung stammen aus den Berechnungsverfahren der Mineralisierungs- und Kohlenstoffbilanzierungsprozesse des LULUCF-Sektors. Sie werden jährlich aktualisiert. Die aktualisierten Werte liegen etwa gleich hoch wie die Werte in Submission 2021.

Bemerkenswert ist in der Zeitreihe der N-Mengen aus Ernterückständen der starke Anstieg von 2013 zu 2014 und der im Jahr 2015 zu beobachtende Rückgang auf das Niveau von 2013. Dies ist eine direkte Folge der sehr guten Ernte im Jahr 2014. Auffällig ist auch die signifikante Abnahme der N-Mengen bei Ernterückständen und Mineraldünger von 2017 zu 2018. Für erstere wird dies vor allem auf die erschwerten Anbaubedingungen und teilweise sehr geringen Erntemengen aufgrund der extrem heißen und trockenen Witterung im Jahr 2018 sowie die in einigen Regionen Deutschlands sehr nassen Bedingungen zur Saatzeit der Winterfrüchte Ende 2017 zurückgeführt. Das Jahr 2019 war ebenfalls ein heißes und regional trockenes Jahr; die durchschnittliche Ernte fiel aber besser aus als 2018. Die Mineraldünger-N-Menge nahm dagegen weiter ab. Für die Mineraldünger ist unsicher, wie stark jeweils die Wetterbedingungen und die rechtlichen Änderungen zum Rückgang beigetragen haben.

5.1.5.1.3 Flächen bewirtschafteter organischer Böden (3.D)

Tabelle 256 zeigt die Flächen der bewirtschafteten organischen Böden, gegliedert nach Acker und Grünlandim engeren Sinne. Die Daten wurden durch den LULUCF-Sektor bereitgestellt und entsprechen den im LULUCF-Sektor zugrunde gelegten Flächen (siehe Kapitel 6.1.2.2.2). Seit Submission 2021 umfassen die Flächen von Grünland alle Teilflächen unabhängig vom Grundwasserflurabstand. Der Umstand, dass bei sehr geringem Grundwasserflurabstand kein N_2O emittiert wird, kommt seit Submission 2021 in den effektiven Emissionsfaktoren (IEF) zum Ausdruck, siehe Kapitel 5.5.2.1.1. Die Gesamtfläche der bewirtschafteten organischen Böden liegt für alle Zeitreihenjahre etwa gleichauf mit den entsprechenden Werten des NIR 2021.

Tabelle 256: Flächen der bewirtschafteten organischen Böden (3.D)

[1000 ha]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**1313,9**	**1315,8**	**1317,6**	**1316,1**	**1305,5**	**1303,6**	**1301,7**	**1299,7**	**1297,8**	**1295,9**	**1293,3**	**1290,7**	**1288,1**	**1285,5**	**1283,0**
Acker	335,6	328,9	322,2	333,6	335,6	338,8	342,1	345,3	348,6	351,8	347,7	343,6	339,4	335,3	331,2
Grünland	978,4	986,9	995,4	982,5	969,9	964,7	959,6	954,4	949,2	944,1	945,6	947,2	948,7	950,2	951,8

5.1.5.1.4 Deposition reaktiven Stickstoffs (3.B, 3.D, 3.J)

Die Deposition reaktiven Stickstoffs wird aus den im Inventar berechneten NH_3- und NO-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft abgeleitet. Dies erfolgt getrennt für die NH_3- und NO-Quellbereiche „Stall & Lager“ (3.B), „Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten“ (3.J) sowie „Ausbringung & Weide“ (3.D). „Ausbringung“ umfasst neben Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten auch die Ausbringung von Mineraldünger und Energiepflanzen-Gärresten.

Tabelle 257 zeigt für die Sektoren 3.B und 3.J die Mengen an reaktivem Stickstoff, die der Berechnung von indirektem N_2O aus der N-Deposition zugrunde liegen. Entsprechende Daten für den Sektor 3.D sind Tabelle 258 zu entnehmen. Unterschiede in beiden Tabellen gegenüber Submission 2021 sind eine Folge der weiter oben im Zusammenhang mit Tabelle 254 beschriebenen Aktualisierungen von Eingangsdaten. Die starke Absenkung im Jahr 2020 ist auf die beschriebene Verringerung des NH_3 Emissionsfaktors für Harnstoffdünger ab diesem jahr zurück zu führen, siehe Kapitel 5.5.2.1.

Tabelle 257: Sektoren 3.B und 3.J: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
3.B, Wirtschaftsdünger incl. W.- Gärreste	254,1	212,6	211,6	211,6	207,2	208,2	212,3	214,2	216,3	215,6	214,2	214,1	209,8	207,5	205,6
3.J, Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,0	0,1	1,0	2,6	2,9	2,5	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,6	2,6

Tabelle 258: Sektor 3.D: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
3.D, insgesamt	**355,6**	**293,2**	**296,7**	**284,6**	**302,4**	**307,8**	**311,5**	**316,3**	**323,1**	**324,0**	**321,6**	**306,9**	**289,2**	**275,1**	**246,7**
3.D, Wirtschaftsdünger, W.- Gärreste, Mineraldünger, Weide	355,5	293,1	295,6	275,7	269,7	266,8	268,6	266,6	273,0	273,9	272,5	259,3	243,0	229,6	201,9
3.D, Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,1	1,1	8,9	32,7	41,0	43,0	49,7	50,1	50,1	49,1	47,6	46,2	45,5	44,8

5.1.5.1.5 Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)

Für die Berechnung der N_2O-Emissionen aus Auswaschung und Oberflächenabfluss wird im Einklang mit IPCC (2006b): Vol. 4 die Summe des Stickstoffs in den ausgebrachten Mengen von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Gärresten (incl. Energiepflanzen-Gärresten) und

Klärschlämmen sowie die N-Mengen in Ernterückständen, durch Mineralisierung sowie durch Weidegang als Gesamtaktivitätswert verwendet. Zu Details siehe Kap. 12.2 in Vos et al. (2022).

Nur ein Teil der verfügbaren N-Menge wird ausgewaschen. Das Verhältnis zur verfügbaren N-Menge wird durch die Größe $Frac_{LEACH}$ beschrieben (siehe IPCC (2006b Vol 4, 11.21)). Deutschland verwendet für $Frac_{LEACH}$ den IPCC-Defaultwert 0,30 kg kg^{-1} (IPCC (2006b Vol 4, 11.21)). Das Kriterium für die Anwendung dieses Defaultwertes ist die Überschreitung der Bodenwasserhaltekapazität, siehe (IPCC (2006b Vol 4, 11.21)Von einer solchen Überschreitung ist grundsätzlich im Jahresmittel für ganz Deutschland auszugehen, da überall in Deutschland Grundwasserneubildung stattfindet (Neumann & Wycisk, 2002). Die berechnete Menge an ausgewaschenem Stickstoff ist in Tabelle 259 wiedergegeben. Unterschiede gegenüber Submission 2021 sind eine Folge der in Kapitel 5.1.5.1.2 im Zusammenhang mit Tabelle 254 beschriebenen Aktualisierungen von Eingangsdaten.

Tabelle 259: Ausgewaschene N-Menge (incl. Oberflächenabfluss) (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	1213,0	1021,4	1089,7	1056,4	1039,2	1057,3	1089,3	1095,3	1146,3	1129,9	1120,2	1092,5	1012,4	999,4	988,6

5.1.5.2 CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)

Aufgrund des unterschiedlichen Carbonat-Kohlenstoffgehalts und den daraus resultierenden unterschiedlichen CO_2-Emissionsfaktoren wird in der Berichterstattung zwischen Dolomit und den übrigen Kalkdüngern unterschieden. Bei den übrigen Kalkdüngern wird die Ausbringung von Kalkammonsalpeter gesondert betrachtet. Die daraus resultierenden CO_2-Emissionen werden unter CRF 3.I („Andere kalkhaltige Dünger“) berichtet. Die CO_2-Emissionen aus der Ausbringung der anderen Kalkdünger und Dolomit werden unter CRF 3.G berichtet. Die berichteten CO_2-Emissionen umfassen entsprechend den IPCC-Anforderungen (IPCC (2006b Vol 4, Chapter 11.3) neben den Emissionen aus der Landwirtschaft auch die aus der Kalkung im ForstbereichIPCC (2006b)

Daten zu ausgebrachten Düngekalkmengen sind nicht verfügbar. Daher wird die Ausbringung den im Inland verkauften und statistisch erfassten Produktmengen (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 8.2) gleichgesetzt. Diese Erfassung erfolgt um ein halbes Jahr versetzt gegenüber dem Kalenderjahr. Für das Inventar wird zunächst angenommen, dass der gesamte im zweiten Halbjahr des Jahres j-1 und im ersten Halbjahr des Jahres j verkaufte Düngekalk im Jahr j ausgebracht wurde. Danach erfolgt analog zum Mineraldünger (siehe Kapitel 5.1.5.1.2) eine jahresübergreifende Mittelung.

Es werden kohlensaure, Misch-, Carbo- und Rückstandskalke sowie Kalkammonsalpeter berücksichtigt. Die in CaO- oder N-Einheiten berichteten Produktmengen werden für die Emissionsberechnungen in Einheiten von $CaCO_3$ für Kalkstein und $CaMg(CO_3)_2$ für Dolomit umgerechnet.

Der Anteil von Dolomit an der Düngekalk-Gesamtmenge wird statistisch nicht erfasst. Er wird für das Inventar anhand eines Expertenurteils (Müller, 2016) berechnet, nach dem der im Forstbereich eingesetzte Düngekalk zu einem Drittel aus $MgCO_3$ besteht und die Anwendung von Dolomit in der Landwirtschaft vernachlässigt werden kann.

Tabelle 260 zeigt die den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Kalkdüngermengen für Landwirtschaft und Forst zusammen, siehe Kap. 11.10 in Vos et al. (2022). Die Abweichung der Daten für 2019 gegenüber Submission 2021 geht auf die Einbeziehung der Daten von 2020 in das übergreifende Mittel zurück.

Tabelle 260: Düngekalkmengen (3.G & 3.I)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kalkstein [in $CaCO_3$]	4204,1	2435,3	3468,0	3018,4	3325,0	3431,3	3644,6	3944,8	4159,2	4156,4	4126,2	4269,1	4528,3	4525,0	4370,2
Dolomit [in $CaMg(CO_3)_2$]	735,8	437,5	356,3	211,5	180,4	175,1	185,6	186,3	182,9	161,5	139,0	124,2	115,3	100,3	84,7
Kalkammonsalpeter [in $CaCO_3$]	1160,1	885,2	833,2	698,9	584,6	600,2	577,1	546,1	536,9	524,3	513,0	484,2	460,7	441,4	431,1

Die Berechnung von CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung erfolgt proportional zu den in Tabelle 261 angegebenen Mengen an ausgebrachtem Harnstoff (einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung). Diese Mengen wurden auf stöchiometrischem Wege (Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 60/28) aus den in der Offizialstatistik berichteten Harnstoff-N-Mengen abgeleitet und ebenfalls der oben im Zusammenhang mit der Kalkung erwähnten gleitenden zeitlichen Mittelung unterzogen.

Tabelle 261: Ausgebrachte Harnstoffmengen einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (3.H)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	656,0	625,3	808,8	874,2	969,2	891,9	940,8	917,1	1022,3	1079,3	1111,6	981,2	825,3	678,7	622,7

5.1.5.3 NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen

Tabelle 262 zeigt exemplarisch für erstes und letztes Zeitreihenjahr die Eingangsdaten, die für die NMVOC-Emissionsberechnung für landwirtschaftliche Kulturen nach EMEP/EEA (2019 -3D-16) und EMEP/EEA (2019 -3D-30) berechnet werden (siehe Kapitel 5.5.2.1.5). Daten zu Anbauflächen und Frischmasseerträgen berichtet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3a). Die Umrechnung in Trockenmasseerträge erfolgt über die Trockenmassegehalte aus der Düngeverordnung (DüV, 2007, 2017). Die relative Emissionsdauer wurde für Weizen, Roggen, Raps und Gras aus EMEP/EEA (2019 -3D-16)) entnommen und sinngemäß auf die übrigen Kulturen übertragen.

Tabelle 262: Eingangsdaten für die Berechnung von NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen (Übersicht)

Kultur	Anbaufläche [1000 ha]		Frischmasseertrag [Mg ha^{-1}]		Trockenmassegehalt [kg kg^{-1}]	relative Emissionsdauer [a a^{-1}]
	1990	2020	1990	2020		
Weizen	2419,9	2801,5	6,3	7,8	0,86	0,3
Roggen	1067,1	636,0	3,8	5,5	0,86	0,3
Gerste	2612,5	1667,3	5,4	6,5	0,86	0,3
Hafer	533,5	165,745	4,4	4,5	0,86	0,3
Triticale	77,3	341,296	5,1	6,0	0,86	0,3
Getreide zur Ganzpflanzenernte	0,0	125,623	0,0	24,9	0,35	0,3
Körnermais	228,4	419,297	6,8	9,6	0,86	0,3
Silomais	1365,4	2299,741	40,4	42,4	0,28	0,3
Raps	557,5	954,351	3,0	3,7	0,91	0,3
Hackfrüchte	1249,6	659,5	40,6	61,2	0,22	0,3
Kleegras, Alfalfa, Futtergras	856,6	647,5	34,0	35,3	0,20	0,5
Hülsenfrüchte	121,2	223,9	3,4	3,8	0,86	0,3
Wiesen und Mähweiden	5417,2	4505,44	31,6	29,3	0,20	0,5

5.1.6 Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3

Ergänzend zu den Emissionsberechnungen wurde die Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3 berechnet. Grundlage war das in IPCC (2006b Vol 1, Chapter 3) als “Approach 1” beschriebene Verfahren, das auf der Anwendung der Gaußschen Fehlerrechnung beruht. Dabei bleibt per Konvention unberücksichtigt, dass diese Fehlerrechnung Normalverteilung voraussetzt, eine Annahme, die von einigen der eingehenden Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren nicht erfüllt wird oder deren Einhaltung nicht geprüft werden kann. Für das vorliegende

Treibhausgasinventar der Landwirtschaft wurde von der in IPCC (2006b Vol 1, Chapter 3) beschriebenen Standardversion des „Approach 1“ ausgegangen: Korrelation zwischen den Emissionsfaktoren der verschiedenen Zeitreihenjahre, aber von Jahr zu Jahr unkorrelierte Aktivitätsdaten. Für asymmetrische Verteilungen wurde, wie von IPCC (2006b Vol 1, Chapter 3), für das „Approach 1“-Verfahren gefordert, von den beiden Intervallen [2,5 %-Perzentil; Mittelwert] und [Mittelwert; 97,5 %-Perzentil] das größere verwendet. (Für die Unsicherheits-berechnung mit dem „Approach 2“-Verfahren für die gesamte Treibhausgasberichterstattung durch das Umweltbundesamt wurden im ZSE für alle Unsicherheiten landwirtschaftlicher Größen die untere und die obere Schranke des 95 %-Konfidenzintervalles sowie der Typ der Verteilung bereitgestellt.) Weitere Details zur Unsicherheitenberechnung für das deutsche Inventar finden sich in Kap. 14 in Vos et al. (2022).

Tabelle 263 zeigt für das letzte Zeitreihenjahr die mit dem “Approach 1”-Verfahren berechnete Gesamtunsicherheit aller Emissionen des Sektors „Landwirtschaft“ (Sektor 3) einschließlich der Vergärung von Energiepflanzen und Lagerung und Ausbringung der Energiepflanzen-Gärreste. Die Unsicherheit des Gesamttrends seit 1990 ist ebenfalls aus Tabelle 263 zu entnehmen. Alle Emissionswerte sind in CO_2-Äquivalenten angegeben, wobei gemäß IPCC (2006b Vol 4) die Umrechnungsfaktoren (GWP) von 25 kg kg^{-1} für CH_4 und 298 kg kg^{-1} für N_2O zugrunde gelegt wurden.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen erfolgt die Darstellung in Tabelle 263 unter Verwendung der IPCC-Tiersammelkategorien „Übrige Rinder“, „Schweine“, „Pferde“ und „Geflügel“. Die für diese Sammelkategorien angegebenen Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren wurden mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung aus den Unsicherheiten der im Py-GAS-EM-Modell verwendeten Tierunterkategorien abgeleitet. Eine Darstellung ähnlich Tabelle 263, aber mit allen einzelnen Tierunterkategorien, findet sich in Kapitel 14.6in Vos et al. (2022).

Auch die Unsicherheiten der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren der verschiedenen Mineraldüngerkategorien wurden mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung aggregiert. Für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten wurden die in Tabelle 263 angegebenen aggregierten Unsicherheiten unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Ausbringungsbeiträge der einzelnen Tierkategorien mithilfe der Fehlerfortpflanzungsrechnung aggregiert.

Zu den verwendeten Unsicherheitswerten siehe Kapitel 5.2.3, 5.3.2.3, 5.3.4.3, 5.3.5.3, 0, 5.8.4 und 5.9.7. Deutlich zu erkennen ist, dass die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in der Regel deutlich über denen der Aktivitätsdaten liegen, so dass sie die kombinierte Unsicherheit in Spalte „Combined uncertainty as % of total national emissions“ dominieren.

Die Gesamtunsicherheit der Emissionen des Quellsektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirt-schaftlicher Böden, Energiepflanzen-Vergärung) beträgt 25,9 % (gültig für das Jahr 2020). Die Absenkungder Gesamtunsicherheit gegenüber dem Wert von 29,0 % im NIR 2021 ist vor allem eine Folge der neu eingesetzten Tier 2 N_2O-Emissionsfaktorenfür Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm, Gärresten und Emissionen durch Ernterückstände nach (Mathivanan et al., 2021). Die seEmissionsfaktoren sind kleiner als die für den NIR 2021 verwendeten Werte und weisen überdies eine viel geringere Unsicherheit auf. Die Unsicherheit des Trends 1990 –2020 liegt bei 11,8 %.

Tabelle 263: Gesamtunsicherheitsberechnung für die Emissionen des Sektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden) incl. Energiepflanzen-Vergärung

Source category EntFer = Enteric Fermentation MM = Manure Management DEC = Digestion of Energy Crops	Gas	Base year emissions, in CO_2 equivalents (GWP_{CH4} = 25, GWP_{N2O} = 298)	Year 2020 emissions, in CO_2 equivalents (GWP_{CH4} = 25, GWP_{N2O} = 298)	Activity data uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Emission factor uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Combined uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Auxiliary calcula-tions [A]	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by acticity data uncertainty	Square of "Uncertainty introduced into the trend in total national emissions" [B]
		kt a^{-1}	kt a^{-1}	%	%	%		%	%	%	%	
EntFer, dairy cows	CH_4	17,718,2	13,802,7	4	20	20,4,	25,2,	0,00,	0,20,	0,08,	1,11,	1,23,
EntFer, other cattle	CH_4	14,017,0	8,938,4	2,2,	10,9,	11,1,	3,1,	0,03,	0,13,	0,34,	0,39,	0,27,
EntFer, pigs	CH_4	692,4,	635,6,	3,0,	15,0,	15,3,	0,0,	0,00,	0,01,	0,02,	0,04,	0,00,
EntFer, sheep	CH_4	518,2,	283,2,	10	30	31,6,	0,0,	0,00,	0,00,	0,05,	0,06,	0,01,
EntFer, goats	CH_4	11,3,	19,4,	20	30	36,1,	0,0,	0,00,	0,00,	0,00,	0,01,	0,00,
EntFer, horses	CH_4	204,6,	188,1,	10	30	31,6,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,04,	0,00,
MM, dairy cows	CH_4	2,195,7	2,278,1	4	20	20,4,	0,7,	0,01,	0,03,	0,15,	0,18,	0,06,
MM, other cattle	CH_4	2,396,2	1,414,0	2,2,	11,3,	11,5,	0,1,	0,01,	0,02,	0,08,	0,06,	0,01,
MM, pigs	CH_4	3,059,4	2,583,3	3,0,	16,4,	16,7,	0,6,	0,00,	0,04,	0,04,	0,15,	0,02,
MM, sheep	CH_4	22,5,	12,3,	10	30	31,6,	0,0,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,
MM, goats	CH_4	0,5,	0,8,	20	30	36,1,	0,0,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,
MM, horses	CH_4	38,8,	35,7,	10	30	31,6,	0,0,	0,00,	0,00,	0,00,	0,01,	0,00,
MM, poultry	CH_4	89,1,	146,5,	6,2,	10,0,	11,8,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,02,	0,00,
MM, direct N_2O, dairy cows	N_2O	955,8,	721,0,	4	100	100,1,	1,7,	0,00,	0,01,	0,05,	0,06,	0,01,
MM, direct N_2O, other cattle	N_2O	982,9,	721,2,	2,2,	52,0,	52,1,	0,4,	0,00,	0,01,	0,04,	0,03,	0,00,
MM, direct N_2O, pigs	N_2O	400,8,	367,8,	3,0,	78,5,	78,6,	0,3,	0,00,	0,01,	0,05,	0,02,	0,00,
MM, direct N_2O, sheep	N_2O	28,5,	15,5,	10	100	100,5,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,00,	0,00,
MM, direct N_2O, goats	N_2O	1,6,	2,8,	20	100	102,0,	0,0,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,
MM, direct N_2O, horses	N_2O	60,1,	55,3,	10	100	100,5,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,01,	0,00,
MM, direct N_2O, poultry	N_2O	36,7,	62,0,	6,2,	52,8,	53,2,	0,0,	0,00,	0,00,	0,02,	0,01,	0,00,
MM, indirect N_2O, all animals	N_2O	1,189,7	962,9	40	400	402,0,	47,6,	0,00,	0,01,	0,10,	0,77,	0,61,
Soils, mineral fertilizers	N_2O	6,240,4	3,871,7	0,5,	20,3,	20,3,	2,0,	0,02,	0,05,	0,31,	0,04,	0,10,
Soils, spreading of manure	N_2O	3,441,3	2,877,7	9,6,	19,2,	21,4,	1,2,	0,00,	0,04,	0,04,	0,55,	0,31,
Soils, sewage sludge	N_2O	80,8	37,8	20	40	44,7,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,02,	0,00,
Soils, crop residues	N_2O	1,373,8	1,622,8	50	40	64,0,	3,4,	0,01,	0,02,	0,30,	1,63,	2,73,
Soils, organic soils	N_2O	3,789,5	3,704,2	0,13,	245	245,0,	261,7,	0,01,	0,05,	2,40,	0,01,	5,77,
Soils, mineralization	N_2O	11,5	8,4	13,6,	200	200,5,	0,0,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,	0,00,
Soils, grazing	N_2O	1,905,7	1,038,5	20	200	201,0,	13,8,	0,01,	0,01,	1,35,	0,42,	1,99,
Soils, indirect N_2O (deposition)	N_2O	1,665,0	945,6	50	400	403,1,	46,2,	0,01,	0,01,	2,14,	0,95,	5,48,
Soils, indirect N_2O (leaching, run-off)	N_2O	4,260,2	3,163,4	170	230	286,0,	260,1,	0,00,	0,04,	0,72,	10,78,	116,63,

Source category EntFer = Enteric Fermentation MM = Manure Management DEC = Digestion of Energy Crops	Gas	Base year emissions, in CO_2 equivalents (GWP_{CH4} = 25, GWP_{N2O} = 298)	Year 2020 emissions, in CO_2 equivalents (GWP_{CH4} = 25, GWP_{N2O} = 298)	Activity data uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Emission factor uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Combined uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Auxiliary calcula-tions [A]	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by acticity data uncertainty	Square of "Uncertainty introduced into the trend in total national emissions" [B]
		kt a^{-1}	kt a^{-1}	%	%	%		%	%	%	%	
DEC, digester and storage	CH_4	0,3,	1,312,9	10	20	22,4,	0,3,	0,02,	0,02,	0,37,	0,26,	0,21,
DEC, storage, direct N_2O	N_2O	0,1,	240,4,	10	100	100,5,	0,2,	0,00,	0,00,	0,34,	0,05,	0,12,
DEC, storage, indirect N_2O (deposition)	N_2O	0,0,	12,4,	10	400	400,1,	0,0,	0,00,	0,00,	0,07,	0,00,	0,00,
DEC, soils, direct N_2O	N_2O	0,2,	884,6,	10	30	31,6,	0,2,	0,01,	0,01,	0,38,	0,18,	0,17,
DEC, soils, indirect N_2O (deposition)	N_2O	0,0,	209,7,	10	400	400,1,	2,2,	0,00,	0,00,	1,19,	0,04,	1,41,
DEC, soils, indirect N_2O (leaching, run-off)	N_2O	0,1,	308,8,	10	230	230,2,	1,6,	0,00,	0,00,	1,01,	0,06,	1,02,
Liming, without Dolomite	CO_2	1,849,8	1,922,9	3	3	4,2,	0,0,	0,01,	0,03,	0,02,	0,12,	0,01,
Liming, Dolomite	CO_2	350,7	40,4,	100	3	100,0,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,08,	0,01,
Liming, Calcium Ammonium Nitrate	CO_2	510,4	189,7,	3	3	4,2,	0,0,	0,00,	0,00,	0,01,	0,01,	0,00,
Application of urea	CO_2	481,0,	456,6,	1	1	1,4,	0,0,	0,00,	0,01,	0,00,	0,01,	0,00,
Total		70,581,0	56,095,1									
					percentage uncertainty in total inventory:		25,9			trend uncertainty (percentage):		11,8

[A] The data in this column describes auxiliary data needed to derive the percentage uncertainty in total inventory in the bottommost cell of this column. In order to calculate the data the calculation procedure provided by IPCC (2006b Vol 1, 3.31, Table 3.2, column H) , has been used. Note, however, that the head of column as prescribed by IPCC (2006b Vol 1, 3.31, Table 3.2, column H) („Contribution to Variance by Category ") does not correctly describe the data in column H. Hence the head of column had been modified.

[B] The head of this column as prescribed by IPCC (2006b Vol 1, 3.31, Table 3.2, column M)(„Uncertainty introduced into the trend in total national emissions"), has been modified in order to match the formula provided by IPCC (2006b Vol 1) and applied in the table above to calculate the data in this column.

5.1.7 Qualitätssicherung und -kontrolle

Eine allgemeine und für 3.D, G & J zusätzlich auch eine kategoriespezifische Qualitätskontrolle sowie eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

5.1.7.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts

Das Qualitätsmanagement der Emissionsinventarerstellung am Thünen-Institut wurde konform zu den IPCC-Richtlinien und dem QSE (Kapitel 1.6.1) entwickelt. Rahmenbedingungen und Durchführung des Qualitätsmanagements sind im Konzept (BMELV, 2016) und in der Ausführungsbestimmung des Konzepts (Thünen-Institut, 2016) ausführlich beschrieben. Für die Qualitätskontrolle wichtige Dokumente werden in der Inventarbeschreibung abgelegt, die von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert wird. Die Vorgaben und Abläufe der Ausführungsbestimmung wurden vollständig eingehalten. Die nachfolgenden Abschnitte gehen auf wichtige Aspekte der Qualitätskontrolle für diese Submission ein.

5.1.7.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse

Die Prüfung der Emissionsberechnungen und des NIR umfasste die folgenden Elemente:

- Im Rahmen der Inventarverbesserung wurden im Vorfeld der Emissions-berichterstattung 2022 folgende Änderungen vorgenommen (siehe Kapitel 3.5.2 in Vos et al. (2022)):
  - Anwendung von Tier 2 Emissionsfaktoren nach (Mathivanan et al., 2021) für die Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Gärresten, Klärschlamm und Emissionen aus Ernterückständen.
  - Aktualisierung der Modellierung von Energiebedarf und Fütterung bei Mutterkühen auf Grundlage deutscher Standardwerte;
  - Zeitlich variable Eingangsdaten zu den Futterkennwerten bei Masthühnchen und Mastschweinen
  - Aktualisierung der Koeffizienten von N- und VS-Ausscheidung sowie Strohinput bei Gänsen
  - Mineraldünger, Kalkung, Anwendung von Harnstoff: Jahresübergreifende Mittelung der Aktivitätsdaten (gleitendes zentriertes Dreijahresmittel für 1990 bis 2019; für 2020 Mittel aus 2019 (Wichtung 1/3) und 2020 (Wichtung 2/3)).
- Die übrigen Berechnungsverfahren stimmen mit denen der Emissionsberichterstattung 2021 formal überein.
- Die Aktivitätsdaten wurden auf Plausibilität und Konsistenz geprüft und gegebenenfalls anhand neuerer Daten aktualisiert.
- Es wurde sichergestellt, dass die Flächen der organischen Böden unter Acker und Nutzgrünland konsistent zwischen LULUCF (Kapitel 4.B, 4.C) und Landwirtschaft (3.D) sind.
- Jede einzelne Zeitreihe der Emissionsergebnisse für Submission 2022 wurde auf Konsistenz mit der entsprechenden Zeitreihe der Submission 2021 geprüft. Alle Abweichungen lassen sich durch Aktualisierungen von Eingangsdaten und/oder Berechnungsverfahren erklären.
- Fluktuationen und Trends in den Zeitreihen sind erklärbar und die wichtigen sind im NIR beschrieben.

- Aktivitätsdaten und Emissionsergebnisse wurden mit entsprechenden Daten mitteleuropäischer Länder verglichen, die direkt benachbart oder in ihrer landwirtschaftlichen Praxis vergleichbar sind. Die deutschen Daten liegen dabei meist im mittleren Bereich oder auf dem Niveau eines oder mehrerer Vergleichsländer bzw. einem IPCC (2006b) Standardwert. Relevante Abweichungen von diesen Kriterien lassen sich in jedem Einzelfall begründen.
- Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse aller in der landwirtschaftlichen Emissionsberichterstattung relevanten Emissionsquellen sind als Hintergrund für die im NIR 2022 und in den CRF-Tabellen gezeigten Ergebnisse in einer EXCEL-Datei dokumentiert, die als Ergänzung zu Vos et al. (2022) erhältlich ist (siehe Kap. 2.4 in Vos et al. (2022)).
- Die Daten im NIR-Text wurden mit den Berechnungsergebnissen auf Konsistenz überprüft.
- Die korrekte Übertragung der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren (IEF) in die ZSE-Datenbank (Zentrales System Emissionen), die den CRF-Tabellen zugrunde liegt, wurde durch Vergleich der mit dem ZSE berechneten Emissionen mit den Ergebnissen des Inventarmodells Py-GAS-EM sicher gestellt.

5.1.7.3 Verifizierung

Die mit dem Inventarmodell Py-GAS-EM berechneten nationalen Emissionsergebnisse können nicht mit anderen Daten aus Deutschland verglichen werden, da solche Daten nicht vorliegen. Stattdessen wurde (siehe Kapitel 5.1.7.2) ein Vergleich von Eingangsdaten und Emissionsergebnissen mit entsprechenden Daten anderer Staaten sowie IPCC (2006b)-Standardwerten durchgeführt. Hierauf wird im vorliegenden NIR in entsprechenden Unterkapiteln eingegangen.

Eine für den NIR 2014 im Rahmen eines Verifizierungsprojektes durchgeführte Verfizierung der deutschen Emissionsberechnungen durch einen externen Experten (Zsolt Lengyel, Verico SCE) erbrachte, dass die Eingangsdaten konsistent sind, und dass die durchgeführten Berechnungen konsistent und korrekt nach den methodischen Anforderungen der IPCC Guidelines durchgeführt wurden.

Zusätzlich wird das Py-GAS-EM-Modell im Rahmen der EAGER-Gruppe und durch Prüfung von Modulen durch das KTBL kontinuierlich validiert und verifiziert.

5.1.7.4 Reviews und Reports

Die ERT-Empfehlungen aus den Reviews bis einschließlich Submission 2016 wurden bis Submission 2018 umgesetzt und werden hier nicht näher aufgeführt.

Das ERT des Submission-2018-Reviews empfahl[90] eine Verbesserung der Transparenz im NIR oder in einer ergänzenden Dokumentation hinsichtlich

- der Ableitung des deutschen N_2O-EF für drainiertes Grünland,
- der Berücksichtigung der Büffel, sowie
- der Methodiken und Eingangsdaten für die Ermittlung von Energiebedarf, Futteraufnahme und Ausscheidungen bei Färsen und Mutterkühen.

Im Falle des N_2O-EF für drainiertes Grünland wurde die zusätzliche Erläuterung bereits in den NIR 2019 aufgenommen. In den beiden anderen Fällen (Büffel; Färsen und Mutterkühe) wurde die den NIR 2020 ergänzende Dokumentation (Haenel et al., 2020b) um ausführliche Angaben erweitert, siehe dort Kapitel 4.1.1.2, 4.5.2, 4.7.2, 4.7.6.1. Das Färsenmodell wurde zur Submission

[90] siehe Review Report, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2018_DEU.pdf

2021 angepasst und beinhaltet nun die Abschätzung des Energiebedarfes und der Futteraufnahme auf Grundlage von Kennzahlen aus Verbands-Veröffentlichungen. Das Mutterkuhmodell wurde ebenfalls dahingehend angepasst und wird mit der vorliegenden Submission 2022 erstmals verwendet.

Für Submission 2019 fand kein Review statt. Submission 2019 wurde allerdings im Frühjahr 2019 gemäß Artikel 19(2) der EU-Verordnung 525/2013 in einem EU-Review überprüft. Im Ergebnis waren keinerlei Änderungen an der Inventarmethodik oder an Eingangsdaten erforderlich (EEA, 2019). Dies gilt auch für den EU-Review der Submission 2020 im Frühjahr 2020 (EEA, 2020).

Das nationale Qualitätsaudit durch die Firma Verico SCE (Auditor für den Sektor Landwirtschaft: Markus Helm) im April 2016 bestätigte die Konformität des QSE (Qualitätssystem Emissionsberichterstattung) und damit u. a. auch der landwirtschaftlichen Emissionsberichterstattung mit den Anforderungen der IPCC (2006b) Guidelines (Betzenbichler et al., 2016b)

5.2 Fermentation bei der Verdauung (3.A)

5.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.A)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**3 A, Enteric Fermentation**	**dairy cows**	**CH4**	**17.718,2**	**1,4%**	**13.802,7**	**1,9%**	**-22,1%**
L/T	**3 A, Enteric Fermentation**	**non-dairy cattle**	**CH4**	**14.017,0**	**1,1%**	**8.938,4**	**1,2%**	**-36,2%**
-/-	3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH4	1.426,5	0,1%	1.126,3	0,2%	-21,0%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier1/Tier2/Tier3	M/Q/AS/RS/NS	CS/D

Innerhalb der Quellgruppe *Fermentation bei der Verdauung* ist die Kategorie *Milchkühe* die wichtigste Emissionsquelle. Sie stellt für Methan nach der Emissionshöhe und dem Trend eine Hauptkategorie dar. Dies liegt an den hohen Tierzahlen und der hohen Leistung. Die Kategorie der übrigen Rinder ist ebenfalls eine Hauptkategorie, aber nur nach der Emissionshöhe.

CH_4 aus der Fermentation entsteht durch mikrobielle Umsetzungen im Verdauungstrakt. Die je Tier und Zeiteinheit abgegebenen Mengen sind von der Tierart, der individuellen Leistung der Tiere und der Nahrungszusammensetzung abhängig.

Deutschland berichtet über die Emissionen von CH_4 aus der Fermentation bei der Verdauung von Milchkühen, übrigen Rindern (Kälbern, Milch– und Schlachtfärsen, Bullen, Mutterkühe, männliche Rinder ab 2 Jahren), Schweinen (Sauen incl. Saugferkel mit einem Gewicht bis 8 kg pro Tier, Aufzuchtferkel, Mastschweine und Eber), Schafen, Ziegen und Pferden.

Der Trend der CH_4-Emissionen wird bestimmt durch abnehmende Tierzahlen, v. a. der Rinder im Gesamtzeitraum und aller Tierkategorien Anfang der 1990er Jahre, und durch bessere Verdaulichkeit des Futters, teilweise kompensiert durch steigende GE-Aufnahme infolge von Anstiegen bei Milchleistung und Tiergewichten.

Tabelle 264 zeigt die Veränderung der CH_4-Emissionen aus der Verdauung des Gesamt-tierbestandes seit 1990 sowie den prozentualen Anteil dieser Emissionen an den Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft, getrennt nach CH_4 und Treibhausgasen (THG, in CO_2-Einheiten). Die prozentualen Anteile an der Gesamtemission unterscheiden sich, da die THG auch die N_2O- und CO_2-Emissionen umfassen.

Tabelle 264: CH_4-Emissionen aus der Verdauung in der gesamten landwirtschaftlichen Tierhaltung (3.A): Veränderung seit 1990 und Anteile an den Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft (getrennt nach CH_4 und THG (CO_2)) (3.A)

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (CH_4 bzw. THG)	
		1990	2020
CH_4	-28,0	81,0	754
THG (CO_{2eq})		47,0	42,5

5.2.2 Methodische Aspekte (3.A)

5.2.2.1 Methodik (3.A)

Die CH_4–Emissionen aus der Verdauung der Milchkühe werden mit einem nationalen Verfahren berechnet (Tier 3). Für sonstige Rinder und Schweine erfolgt die Berechnung mit einem Tier-2-Verfahren (IPCC, 2006b Vol 4, 10.24). Schafe, Ziegen und Pferde werden mit dem Tier-1-Verfahren gerechnet, das Default-Emissionsfaktoren verwendet (siehe Kapitel 5.2.2.2).

Im nationalen Verfahren zur Berechnung der CH_4-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen (Dämmgen et al., 2012b) wird der Emissionsfaktor nach Kirchgessner et al. (1994) als Funktion der Aufnahme von Rohfasern, N-freien Extrakten, Rohprotein und Fett berechnet:

Gleichung 11: Berechnung des CH_4-Emissionsfaktors für Milchkühe (nationales Verfahren)

$$EF_{CH4,ent} = a \cdot M_{XFi} + b \cdot M_{NFE} + c \cdot M_{XP} + d \cdot M_{XF} + e$$

mit

$EF_{CH4, ent}$	Emissionsfaktor für CH_4 aus der Verdauung (in kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4)
a	Koeffizient (a = 0,079 kg kg^{-1})
M_{XFi}	Rohfaser-Aufnahme (in kg Platz^{-1} a^{-1})
b	Koeffizient (b = 0,010 kg kg^{-1})
M_{NFE}	Aufnahme von N-freien Extrakten (in kg Platz^{-1} a^{-1})
c	Koeffizient (c = 0,026 kg kg^{-1})
M_{XP}	Aufnahme an Rohprotein (in kg Platz^{-1} a^{-1})
d	Koeffizient (d = - 0,212 kg kg^{-1})
M_{XF}	Aufnahme an Fett (in kg Platz^{-1} a^{-1})
e	Konstante (e = 365 · 0,063 kg Platz^{-1} a^{-1})

Die Aufnahme von Rohfaser, N-freien Extrakten, Rohprotein und Fett ergibt sich aus den Kennwerten der Futterzusammensetzung und der Menge des aufgenommenen Futters (siehe Kapitel 5.1.3.3).

Daraus wird mit Hilfe der Gesamtenergie-Aufnahme (siehe Kapitel 5.1.3.3) der Methanumwandlungsfaktor berechnet:

Gleichung 12:

$$x_{CH4,GE} = \frac{\eta_{CH4} \cdot EF_{CH4,ent}}{GE}$$

mit

$x_{CH4, GE}$	Methan-Umwandlungsfaktor für Milchkühe (in MJ MJ^{-1})
η_{CH4}	Energiegehalt von Methan (η_{CH4} = 55.65 MJ (kg CH_4)$^{-1}$)
$EF_{CH4, ent}$	Emissionsfaktor für CH_4 aus der Verdauung (in kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4)
GE	Gesamtenergie-Aufnahme (in MJ Platz^{-1} a^{-1} GE)

Infolge zunehmender Milchleistung steigen die Futteraufnahme und damit die GE-Aufnahme der Milchkühe über die Jahre an, wobei der relative Anteil leichter verdaulichen Kraftfutters an der Ration auf Kosten des Grundfutters wächst, siehe Kap. 4.3.3 in Vos et al. (2022). Letzteres führt dazu, dass die mithilfe von Gleichung 11 berechneten CH_4-Emissionen aus der Verdauung in

geringerem Maße als die GE-Aufnahme ansteigen. Daraus resultiert wiederum ein mit der Milchleistung und damit mit den Jahren abnehmender Methanumwandlungsfaktor, siehe Tabelle 265 und Kapitel 5.2.2.3.

Tabelle 265: Milchkühe: Milchleistung, GE-Aufnahme, verdauungsbedingte CH_4-Emission und Methanumwandlungsfaktor (3.A)

	1990	2020
mittlere tägliche Milchleistung [kg Tierplatz^{-1} d^{-1}]	12,9	23,2
jährliche GE-Aufnahme [GJ Tierplatz^{-1} a^{-1}]	88,1	125,1
jährliche CH_4-Emission aus der Verdauung [kg Tierplatz^{-1} a^{-1}]	111,5	140,8
Methanumwandlungsfaktor [MJ MJ^{-1}]	0,071	0,063

Für Mutterkühe ergeben sich mit dem neuen Modell (siehe Kapitel 5.1.3.3) variable Methanumwandlungsfaktoren zwischen 0,086 und 0,084 MJ MJ^{-1}.

Das für die übrigen Rinder und Schweine verwendete Tier-2-Verfahren berechnet den Emissionsfaktor aus der Gesamtenergie-Aufnahme (siehe Kapitel 5.1.3.3) und dem Methan-Umwandlungsfaktor nach folgender Formel:

Gleichung 13: Berechnung des CH_4- Emissionsfaktors (Tier-2-Verfahren, IPCC (2006b Vol 4, 10.31))

$$EF_{CH4,ent} = GE \cdot \frac{x_{CH4,GE}}{\eta_{CH4}}$$

mit

$EF_{CH4, ent}$	Emissionsfaktor für CH_4 aus der Verdauung (in kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4)
GE	Gesamtenergie-Aufnahme (in MJ Platz^{-1} a^{-1} GE)
$x_{CH4, GE}$	Methan-Umwandlungsfaktor (in MJ MJ^{-1})
η_{CH4}	Energiegehalt von Methan (η_{CH4} = 55.65 MJ (kg CH_4)$^{-1}$)

Die kategoriespezifischen Methanumwandlungsfaktoren für die verschiedenen Unterkategorien der übrigen Rinder sind in Tabelle 266 angegeben. Aufgrund wechselnder Zusammensetzung der Gesamtpopulation variiert der gewichtete Mittelwert für alle übrigen Rinder zusammen geringfügig mit den Jahren. Tabelle 266 zeigt die Mittelwerte aller übrigen Rinder für das erste und das letzte Zeitreihenjahr.

Tabelle 266: Methan-Umwandlungsfaktoren für übrige Rinder (3.A)

	MJ MJ^{-1}	Quelle
Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Zuchtbullen	0,065	IPCC (2006b Vol 4, Table 10.12)
Mutterkühe	0,086 - 0,084	Vos et al. (2022)
Kälber	0,043	Vos et al. (2022)
Mittelwert aller übrigen Rinder 1990	0,0650	Berechnung
Mittelwert aller übrigen Rinder 2020	0,0666	Berechnung

Tabelle 267 zeigt die nationalen kategoriespezifischen Methanumwandlungsfaktoren für die verschiedenen Schweinekategorien (Dämmgen et al., 2012c) sowiedie gewichteten Mittelwerte für alle Schweine im ersten und letzten Jahr der Zeitreihe. Die Mittelwerte unterscheiden sich als Folge der sich ändernden Zusammensetzung der Schweine-Gesamtpopulation.

Tabelle 267: Methan-Umwandlungsfaktoren für Schweine (Dämmgen et al., 2012c) (3.A)

	MJ MJ^{-1}
Sauen	0,0071
Aufzuchtferkel	0,0044
Mastschweine	0,0046
Eber	0,0071
Mittelwert aller Schweine 1990	0,0052
Mittelwert aller Schweine 2020	0,0049

Zu den mit Gleichung 13 berechneten Emissionsfaktoren siehe Kapitel 5.2.2.2.

Eine allgemeine Beschreibung der Berechnung von CH_4-Emissionen aus der Verdauung erfolgt in Kap. 3.3.2 in Vos et al. (2022). Tierspezifische Details finden sich in den in Tabelle 268 genannten Kapiteln in Vos et al. (2022).

Tabelle 268: Beschreibung der CH_4-Berechnung für Verdauung in Vos et al. (2022)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.4	erwachsene Schafe	6.3.2
Kälber	4.4.3	Lämmer	6.4.2
Milch- und Schlachtfärsen	4.5.4	Ziegen	6.6.2
Männliche Mastrinder	4.6.4	Großpferde	7.3.2
Mutterkühe	4.7.4	Kleinpferde/Ponys	7.4.2
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.3	Legehennen	---
Sauen	5.3.4	Masthähnchen	---
Aufzuchtferkel	5.4.4	Junghennen	---
Mastschweine	5.5.4	Gänse	---
Eber	5.6.4	Enten	---
		Puten	---

5.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.A)

Tabelle 269 zeigt die berechneten CH_4-Emissionsfaktoren pro Tierplatz für die Verdauung bei Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen.

Tabelle 269: Tierplatzbezogene CH_4-Emissionsfaktoren, Verdauung (3.A)

[kg $^{-1}$ Platz^{-1} a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	111,5	120,2	126,5	131,3	131,7	132,2	132,4	131,9	132,8	133,7	134,8	134,9	136,9	139,1	140,8
übrige Rinder	42,7	45,2	46,9	46,8	47,4	47,1	47,0	47,1	47,0	47,3	47,2	47,4	47,6	48,1	48,4
Schweine	1,05	1,10	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18

Die Änderungen gegenüber der Submission 2021 sind eine Folge der in Kapitel 5.1.3.3 genannten Änderungen bei der Modellierung von Energiebedarf und Fütterung der Mutterkühe und Mastschweine, sowie der neuen Daten zum Weidegang aus der Landwirtschaftszählung 2020.

Tabelle 270 zeigt die im Inventar verwendeten Tier-1-Emissionsfaktoren für Schafe, Ziegen und Pferde; diese Werte wurden für die gesamte Zeitreihe verwendet. Der Emissionsfaktor für Ziegen wurde aus IPCC (2006b Vol 4, Table 10.10), entnommen. Die in IPCC (2006b Vol 4, Table 10.10)angegebenen Emissionsfaktoren für Schafe und Pferde wurden für erwachsene Schafe bzw. Großpferde übernommen, siehe Kap. 6.3.2 und 7.3.2 in Vos et al. (2022). Die Emissionsfaktoren für Lämmer und Kleinpferde/Ponys wurden aus den Tier-1-Emissionsfaktoren erwachsener Schafe bzw. der Großpferde abgeleitet, siehe Kap. 6.4.2 und 7.4.2 in Vos et al. (2022). Als Folge der zeitlich nicht konstanten Populationszusammensetzung aus Groß- und Kleintieren variieren die in den CRF-Tabellen berichteten Emissionsfaktoren für Schafe insgesamt und Pferde insgesamt leicht von Jahr zu Jahr. Tabelle 270 zeigt den Mittelwert für das letzte Zeitreihenjahr.

Tabelle 270: Tier-1-Emissionsfaktoren für CH_4 aus der Verdauung bei Schafen, Ziegen und Pferden (3.A)

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	EF	Mittelwert für 2020
Erwachsene Schafe	8,0	6,4
Lämmer	3,6	
Ziegen	5,0	5,0
Großpferde	18,0	16,6
Kleinpferde/Ponys	12,0	

5.2.2.3 Emissionen (3.A)

Die berechneten CH_4-Emissionen aus der Verdauung für die gesamte deutsche Tierhaltung zeigt Tabelle 271.

Tabelle 271: CH_4-Emissionen aus der Verdauung (3.A)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**1326,5**	**1162,4**	**1096,4**	**1019,6**	**1007,2**	**993,5**	**993,5**	**1005,9**	**1014,6**	**1014,1**	**1004,1**	**996,2**	**980,8**	**969,5**	**954,7**
in % von 1990	**100,0**	**87,6**	**82,7**	**76,9**	**75,9**	**74,9**	**74,9**	**75,8**	**76,5**	**76,5**	**75,7**	**75,1**	**73,9**	**73,1**	**72,0**
Milchkühe	708,7	628,4	578,1	556,2	550,9	553,9	554,7	562,8	570,4	572,9	568,3	566,4	561,4	557,9,	552,1
übrige Rinder	560,7	481,8	467,5	411,9	408,7	392,9	391,3	396,4	396,9	394,8	389,6	383,3	373,8	366,6,	357,5
Schweine	27,7	22,4	24,3	25,4	25,0	25,7	26,7	26,6	27,1	26,4	26,3	26,6	25,8	25,3,	25,4
Schafe	20,7	18,9	17,6	16,9	14,3	12,6	12,5	11,9	12,0	11,9	11,8	11,9	11,7	11,5,	11,3
Ziegen und Pferde	8,6	10,9	9,0	9,3	8,4	8,4	8,3	8,3	8,2	8,1	8,0	8,1	8,2	8,2,	8,3

Der Trend der Emissionen seit 1990 und insbesondere der Rückgang ab 2015 ist im Wesentlichen geprägt durch:

- den Trend der Tierzahlen (siehe Kapitel 5.1.3.2.3), insbesondere bei den für die Verdauungsemissionen relevanten Rindern (Milchkuhzahlen 2020 um rund 38 % niedriger als 1990; bei den übrigen Rindern sind es rund 44 % weniger Tiere als 1990);
- beständige Leistungszunahme (Milchleistung, Tiergewichte, Gewichtszunahmen), siehe Kapitel 5.1.3.3;
- den mit den Jahren deutlich abnehmenden Methanumwandlungsfaktor bei den Milchkühen (siehe Kapitel 5.2.2.1).

5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.A)

Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Bei den Unsicherheit der Emissionsfaktoren für CH_4 aus der Verdauung handelt es sich um Default-Angaben aus IPCC (2006b Vol 4, 10.33). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Vos et al. (2022).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.A)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung erfolgte für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine eine Gegenüberstellung der Daten aus der deutschen Tierhaltung mit IPCC-Defaultwerten sowie mit Daten benachbarter Staaten incl. des Vereinigten Königreiches, siehe Tabelle 272 und Tabelle 273. Zum Zeitpunkt der Erstellung der deutschen Emissionsberichterstattung 2022 waren die

Ergebnisse der Emissionsberichterstattung 2022 der anderen Länder noch nicht bekannt. Daher wurde für diese Länder auf Daten der Berichterstattung 2021 zurückgegriffen, während die deutschen Daten der aktuellen Berichterstattung 2022 entstammen. Der internationale Vergleich wird für 2019 durchgeführt (letztes Zeitreihenjahr in Berichterstattung 2021).

Tabelle 272 zeigt für Milchkühe den nationalen Mittelwert des auf den Tierplatz bezogenen Emissionsfaktors (impliziter Emissionsfaktor, IEF), die Aufnahme von Bruttoenergie (GE) sowie für die Emissionshöhe die maßgeblich bestimmende Milchleistung. Ergänzend wird der CH_4-Umwandlungsfaktor aufgeführt. Mit seiner Hilfe wird berechnet, welcher Anteil von GE in Methanenergie umgewandelt wird, die mit dem emittierten Methan verloren geht (siehe Methodenbeschreibung in Kapitel 5.2.2.1).

Von den zehn Vergleichsländern hat Dänemark den höchsten und Polen den niedrigsten IEF. Deutschland liegt mit seinem IEF leicht oberhalb des Mittelwertes. Dies gilt auch für GE-Aufnahme und Milchleistung. Im Hinblick auf die Methanumwandlungsfaktoren ist festzustellen, dass drei Länder (Österreich, Tschechien, Polen) den IPCC-Defaultwert von 6,5 % verwendet haben. Der Schweizer Wert ist deutlich höher als der IPCC-Defaultwert. Bei Belgien, Dänemark, Frankreich, Deutschland, den Niederlanden und dem Vereinigtem Königreich liegt der Methanumwandlungsfaktor unter dem IPCC-Defaultwert, wobei der britische Wert dem IPCC-Defaultwert am nächsten kommt.

Tabelle 272: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2019

	IEF_{CH4} [kg Platz^{-1} a^{-1}]	CH_4-Umwandlungsfaktor Y_m [MJ MJ^{-1}]	GE-Aufnahme [MJ Platz^{-1} d^{-1}]	Milchleistung [kg Platz^{-1} d^{-1}]
Österreich	136.56	0.0650	320.31	19.67
Belgien	127.16	0.0610	317.83	23.38
Tschechische Republik	156.36	0.0650	366.76	23.86
Dänemark	162.39	0.0600	412.65	28.56
Frankreich	124.40	0.0613	309.56	19.68
Deutschland	**139.06**	**0.0631**	**336.75**	**22.59**
Niederlande	135.31	0.0573	278.67	NA
Polen	118.80	0.0650	278.67	16.38
Schweiz	137.38	0.0690	303.56	22.86
Vereinigtes Königreich	125.44	0.0642	297.66	22.26
IPCC (2006b Vol 4, 10.15 bis 10.31, 10.72)	117	0.065	Gleichung 10.3-10.16	16.44

Quelle: Deutschland: Submission 2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

NE, NA, n/a: keine Daten verfügbar
a berechnet aus der von IPCC (2006b Vol 4)
angenommenen jährlichen Milchleistung von 6000 kg Platz^{-1} a^{-1}

Tabelle 273 zeigt für die Gruppe der übrigen Rinder sowie für alle Schweine zusammengefasst den IEF sowie die GE-Aufnahme.

Bei den übrigen Rindern reicht die Spanne der IEF-Werte von 34,6 kg Platz^{-1} a^{-1} (Niederlande) bis 59,1 kg Platz^{-1} a^{-1} (Österreich), wobei letzteres nur wenig über dem IPCC-Defaultwert von 57 kg Platz^{-1} a^{-1} liegt. Beim IEF und der GE-Aufnahme liegt Deutschland etwas unterhalb des Medians.

Bei den Schweinen verwenden alle Länder außer Dänemark, Deutschland, Frankreich und der Schweiz den IPCC-Defaultwert für den IEF. Die vier Länder, die den IEF berechnen, kommen zu Ergebnissen, die niedriger sind als der IPCC-Defaultwert, was möglicherweise darauf hindeutet, dass der IPCC-Defaultwert für mitteleuropäische Verhältnisse zu hoch ist. Der französische IEF

erscheint im internationalen Vergleich unrealistisch niedrig. Der deutsche IEF liegt in der gleichen Größenordnung wie die Werte von Dänemark und der Schweiz. Die GE-Aufnahme wird nur von Dänemark, Deutschland und der Schweiz berichtet. Der deutsche Wert liegt näher am dänischen Wert.

Tabelle 273: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei übrigen Rindern und Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2019

	Übrige Rinder		Schweine	
	IEF_{CH4} [kg Platz^{-1} a^{-1}]	GE-Aufnahme [MJ Platz^{-1} d^{-1}]	IEF_{CH4} [kg Platz^{-1} a^{-1}]	GE-Aufnahme [MJ Platz^{-1} d^{-1}]
Österreich	59.08	138.58	1.50	NA
Belgien	46.57	122.12	1.50	NE
Tschechische Republik	58.82	147.85	1.50	NA
Dänemark	41.10	129.94	1.07	38.04
Frankreich	53.22	125.53	0.74	NE
Deutschland	**48.06**	**110.05**	**1.17**	**36.08**
Niederlande [a]	34.64	90.09	1.50	NA
Polen	50.49	118.44	1.50	n/a
Schweiz [a]	46.71	118.52	1.03	26.26
Vereinigtes Königreich [b]	54.71	103.73	1.50	NE
IPCC (2006b)	57	Equation 10.3-10.16	1.5	Gleichung 10.3-10.16

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: andere Länder: UNFCCC (2021a)

NE, NA, n/a: keine Daten verfügbar

[a] Übrige Rinder: berechnet aus CRF-Daten

[b] Vereinigtes Königreich, übrige Rinder: Rinder ohne Milchkühe und ohne Milchkuh-Nachzucht (incl. Kälber)

5.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.A)

Tabelle 274 zeigt für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine die Gesamtenergie-Aufnahme im Vergleich mit den entsprechenden Daten der Submission 2021. Hauptgründe für die Differenzen bei den übrigen Rindern und Schweinen sind in Kapitel 5.1.3.3 genannten Änderungen bei der Modellierung von Energiebedarf und Futterzusammensetzung derMutterkühe sowie der Futterzusammensetzung in der Schweinemast. . Bei den übrigen Säugetieren, d. h. Schafen, Ziegen und Pferden, geht die Gesamtenergie-Aufnahme nicht in die Emissionsberechnungen ein. Sie sind deshalb in Tabelle 274 nicht aufgeführt.

Tabelle 274: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten mittleren täglichen Gesamtenergie-Aufnahme für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A)

[MJ/Tier]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe 2022	241.3	264.0	283.0	298.8	307.5	310.5	312.5	312.0	316.0	318.9	322.3	322.5	329.4	336.7
Milchkühe 2021	241.3	264.0	283.0	298.8	307.5	310.5	312.5	312.0	315.9	318.8	322.3	322.5	329.4	337.0
übrige Rinder 2022	100.1	104.0	106.9	106.6	108.1	107.7	107.6	107.8	107.6	108.2	108.2	108.6	109.0	110.0
übrige Rinder 2011	99.7	103.1	105.7	105.5	107.0	106.6	106.5	106.7	106.6	107.2	107.1	107.6	108.0	109.0
Schweine 2022	30.9	32.5	33.4	33.5	34.0	34.3	34.5	34.8	35.1	35.2	35.5	35.7	36.0	36.1
Schweine 2011	30.2	31.8	32.6	33.0	33.8	34.0	34.3	34.5	34.8	35.0	35.2	35.5	35.8	35.8

Tabelle 275: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten tierplatzbezogenen CH_4-Emissionsfaktoren (Verdauung) für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A)

[MJ/Tier]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe 2022	111.5	120.2	126.5	131.3	131.7	132.2	132.4	131.9	132.8	133.7	134.8	134.9	136.9	139.1
Milchkühe 2021	111.5	120.2	126.5	131.3	131.7	132.1	132.3	131.7	132.5	133.4	134.4	134.5	136.4	138.6
übrige Rinder 2022	42.7	45.2	46.9	46.8	47.4	47.1	47.0	47.1	47.0	47.3	47.2	47.4	47.6	48.1
übrige Rinder 2021	41.7	43.1	44.2	44.1	44.7	44.5	44.5	44.6	44.6	44.8	44.8	45.0	45.2	45.6
Schweine 2022	1.05	1.10	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.17	1.17
Schweine 2021	1.02	1.07	1.09	1.10	1.12	1.12	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16

Die in Tabelle 275 (Emissionsfaktoren) und Tabelle 276 (Emissionen) zu erkennenden Abweichungen gegenüber Submission 2021 gehen ebenfalls auf die im Zusammenhang mit Tabelle 274 genannten Gründe zurück. Darüber hinaus wirkt sich ab 2010 auch der durch die Einbeziehung der Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2020 veränderte Weidegang aus.

Tabelle 276: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten CH_4-Emissionen (Verdauung) für alle Säugetiere, Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A)

[Tg a^{-1} CH_4]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Säugetiere 2022	1.326	1.162	1.096	1.020	1.007	0.993	0.994	1.006	1.015	1.014	1.004	0.996	0.981	0.970
Säugetiere 2021	1.313	1.140	1.069	0.995	0.985	0.972	0.972	0.984	0.993	0.992	0.982	0.975	0.959	0.948
Milchkühe 2022	0.709	0.628	0.578	0.556	0.551	0.554	0.555	0.563	0.570	0.573	0.568	0.566	0.561	0.558
Milchkühe 2021	0.709	0.628	0.578	0.556	0.551	0.554	0.554	0.562	0.569	0.572	0.567	0.565	0.559	0.556
übrige Rinder 2022	0.561	0.482	0.468	0.412	0.409	0.393	0.391	0.396	0.397	0.395	0.390	0.383	0.374	0.367
übrige Rinder 2021	0.547	0.460	0.441	0.388	0.386	0.372	0.370	0.376	0.376	0.374	0.370	0.364	0.355	0.348
Schweine 2022	0.0277	0.0224	0.0243	0.0254	0.0250	0.0257	0.0267	0.0266	0.0271	0.0264	0.0263	0.0266	0.0258	0.0253
Schweine 2021	0.0271	0.0219	0.0238	0.0250	0.0248	0.0255	0.0265	0.0264	0.0269	0.0262	0.0261	0.0264	0.0256	0.0252

5.2.6 Geplante Verbesserungen (3.A)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.3 Wirtschaftsdünger-Management (3.B)

5.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**3 B, Manure Management**	**dairy cows**	**CH4**	**2.195,7**	**0,2%**	**2.278,1**	**0,3%**	**3,8%**
-/-/T2	**3 B, Manure Management**	**dairy cows**	**N2O**	**955,8**	**0,1%**	**721,0**	**0,1%**	**-24,6%**
-/-	3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	2.396,2	0,2%	1.414,0	0,2%	-41,0%
-/-	3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N2O	982,9	0,1%	721,2	0,1%	-26,6%
L/T	**3 B, Manure Management**	**swine**	**CH4**	**3.059,4**	**0,2%**	**2.583,3**	**0,4%**	**-15,6%**
-/-	3 B, Manure Management	swine	N2O	400,8	0,0%	367,8	0,1%	-8,2%
-/-	3 B, Manure Management	other animals	CH4	150,9	0,0%	195,3	0,0%	29,4%
-/-	3 B, Manure Management	other animals	N2O	126,9	0,0%	135,7	0,0%	6,9%
-/-/T2	**3 B, Manure Management**	**deposition**	**N2O**	**1.189,7**	**0,1%**	**962,9**	**0,1%**	**-19,1%**

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	M/Q/AS/RS/NS	CS/D
N_2O direct	Tier 2	M/Q/AS/RS/NS	CS/D
N_2O indirect	Tier 1	M/Q/AS/RS/NS	D
NO_X	Tier 2	M/Q/AS/RS/NS	CS
NMVOC	Tier 2/Tier 1	RS/NS	D

Wirtschaftsdünger-Management ist für CH_4 der Schweine eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und Trend. Die 3.B.-Kategorien Wirtschaftsdünger-Management der Milchkühe ist für CH_4 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend und für N_2O der Approach-2-Level-Analyse. Indirektes N_2O aus Deposition ist ebenfalls zusätzlich nach der Approach-2-Level- & Trend-Analyse als Hauptkategorien identifiziert worden.

Deutschland berichtet im Sektor 3.B über CH_4, N_2O, NO und NMVOC aus dem Wirtschaftsdünger-Management.

CH_4 entsteht durch die Aktivität von methanogenen Bakterien bei der Zersetzung organischer Substanz in anaerober Umgebung. Direkte N_2O-Emissionen entstehen bei Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen während der Lagerung von Wirtschaftsdünger und Gärresten. NO entsteht durch Nitrifikation in den Oberflächenschichten im Lager. NMVOC-Emissionen werden aus Silage-Futter und Wirtschaftsdüngerlager freigesetzt.

In der Berichterstattung werden dem Wirtschaftsdünger-Management auch indirekte N_2O-Emissionen zugeordnet. Diese können bei Umsetzungsprozessen in Böden aus reaktivem Stickstoff, der aus der Deposition von NH_3 und NO aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management stammt, sowie infolge von Stickstoff-Auswaschung oder -Oberflächenabfluss aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management entstehen. Da allerdings Versickerung oder unkontrollierter oberirdischer Abfluss aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management aus Gründen des Gewässerschutzes zu vermeiden sind (Council of the European Union, 1991), wurden keine indirekten N_2O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss berechnet. Dies erfolgte für alle Jahre ab 1990. Dies stellt hinsichtlich der Gesamt-N_2O-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft eine konservative Annahme dar, denn der nicht durch N_2O aus Auswaschung/Oberflächenabfluss verloren gegangene Stickstoff wird ausgebracht und verursacht dadurch rechnerisch höhere N_2O-Emissionen.

Die Berechnung der Emissionen erfolgt in Abhängigkeit von der Tierkategorie, den Ausscheidungen der Tiere (welche eine Funktion der Tierleistung und der Ernährung sind), den in bestimmten Aufenthaltsbereichen (Weide, Stall) verbrachten Zeiten, sowie von Stalltyp, Stickstoffeintrag durch Einstreu (Stroh) und Lagerungstyp.

Tabelle 277 zeigt die zeitlichen Veränderungen der Emissionen aus dem gesamten Wirtschaftsdünger-Management seit 1990 sowie für Anfangs- und Endjahr der Zeitreihe den Anteil dieser Emissionen an den jeweiligen Gesamtemissionen aus der deutschen Landwirtschaft. Zu den absoluten Emissionshöhen siehe Kapitel 5.3.2.2.3, 0 und 5.3.4.2.3. Die Abnahme der Emissionen seit 1990 ist im Wesentlichen auf Veränderungen in den Tierbeständen zurück zu führen. Bei CH_4 und N_2O wirken sich auch Emissionseinsparungen durch die Wirtschaftsdünger-Vergärung aus. Der bei NMVOC noch stärkere prozentuale Rückgang seit 1990 ist fast ausschließlich eine Folge der zurück gegangenen Rinderzahlen.

Tabelle 277: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Index: MM) seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH_4, N_2O, THG und NMVOC

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (CH_4, N_2O, THG, NMVOC)	
		1990	2020
$CH_{4, MM}$	-17,1	19,0	20,4
N_2O_{MM}, direkt	-21,1	9,3	8,9
N_2O_{MM}, indirekt	-19,1	4,5	4,4
$CH_{4, MM}$ + N_2O_{MM} (als THG in CO_{2eq})	-18,1	16,2	16,7
$NMVOC_{MM}$	-25,9	98,1	96,9

5.3.2 Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, CH_4)

5.3.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, CH_4)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.2.2 Methodische Aspekte (3.B, CH_4)

5.3.2.2.1 Methodik (3.B, CH_4)

Die CH_4-Emissionen werden für alle Tierkategorien nach der Tier-2-Methode berechnet:

Gleichung 14: Berechnung der CH_4-Gesamtemission aus dem Wirtschaftsdünger-Management

$$E_{CH4,MM} = \sum_{i,j} n_i \cdot EF_{i,j} = \sum_{i,j} n_i \cdot \alpha \cdot \rho_{CH4} \cdot VS_i \cdot B_{o,i} \cdot MS_{i,j} \cdot MCF_{i,j}$$

mit

$E_{CH4, MM}$	Methan-Gesamtemission aus dem Wirtschaftsdünger-Management (in kg a^{-1} CH_4)
n_i	Anzahl der Tierplätze in Tierkategorie i (in Platz)
$EF_{i,j}$	Methan-Emissionsfaktor für Tierkategorie i in Wirtschaftsdünger-Management-System j (in kg $Platz^{-1}$ a^{-1} CH_4)
α	Faktor zur Umwandlung der Zeiteinheiten (α = 365 d a^{-1})
ρ_{CH4}	Dichte von Methan (ρ_{CH4} = 0,67 kg m^{-3})
VS_i	VS-Ausscheidung von Tierkategorie i (in kg $Platz^{-1}$ d^{-1})
$B_{o,i}$	Maximale Methanproduktionskapazität von Tierkategorie i (in m^3 kg^{-1} CH_4)
$MS_{i,j}$	relativer Anteil der Anzahl der Haltungsplätze von Tierkategorie i, deren Exkremente in Wirtschaftsdünger-Management-System j anfallen (in Platz $Platz^{-1}$)

$MCF_{i,j}$ Methan-Umwandlungsfaktor für Wirtschaftsdünger-Management-System j (in m^3 m^{-3}) [91]

Für die Tierplatzzahlen n_i wird auf Kapitel 5.3.2.2.1 verwiesen. Die VS-Ausscheidungen werden in Kapitel 5.1.3.5 beschrieben. Zu den Häufigkeiten von Lagerverfahren für Festmist, Flüssigmist und Gärreste sowie der Weidedauer siehe Kapitel 5.1.3.6.1 und 19.3.2. Auf maximale Methan-Bildungsrate B_o und Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* gehen Kapitel 5.1.3.6.3 und 5.1.3.6.4 ein. Die Vergärung von Wirtschaftsdünger einschließlich Gärrestelagerung wird von IPCC als eigenständiger Lagertyp angesehen, zu dessen B_o und *MCF* auf Kapitel 5.1.3.6.5 verwiesen wird.

5.3.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.B,CH_4)

Tabelle 278 zeigt die Zeitreihen der auf den Tierplatz bezogenen Emissionsfaktoren. Sie wurden nach Gleichung 14 in Kapitel 5.3.2.2.1 berechnet. Der Effekt der Emissionsminderung durch die Vergärung von Wirtschaftsdünger ist in den Emissionsfaktoren enthalten.

Tabelle 278: Tierplatzbezogene CH_4-Emissionsfaktoren, Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	13,8	18,6	20,5	21,5	20,2	19,9	20,0	19,8	20,1	20,5	21,0	21,2	21,9	22,7	23,2
übrige Rinder	7,3	7,5	7,7	7,4	6,8	6,7	6,8	6,9	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,5	7,7
Schweine	4,6	5,0	5,2	4,8	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8
Schafe	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Ziegen	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Pferde	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Geflügel	0,031	0,030	0,032	0,035	0,037	0,035	0,034	0,032	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034

5.3.2.2.3 Emissionen (CRF 3.B, CH_4)

Tabelle 279 zeigt die berechneten CH_4-Gesamtemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management in absoluten sowie relativen, auf 1990 bezogenen prozentualen Werten.

Tabelle 279: CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management(3.B(a))

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
[kt a^{-1}]	312,09	285,19	289,42	273,12	246,92	245,84	251,28	251,68	256,53	256,72	258,33	260,19	257,77	257,85	258,83
[% von 1990]	100,0	91,4	92,7	87,5	79,1	78,8	80,5	80,6	82,2	82,3	82,8	83,4	82,6	82,6	82,9

Der zeitliche Verlauf ist im Wesentlichen eine Folge der Entwicklung der Tierzahlen (siehe Kapitel 5.1.3.2), modifiziert durch emissionssteigernden Leistungszuwachs (siehe Kapitel 5.1.3.3).

Tabelle 280 zeigt die Emissionsbeiträge von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen sowie den hohen prozentualen Anteil dieser drei Tierkategorien zusammen an der Gesamtemission aller Tiere, ergänzt um das Verhältnis der Emissionen von Rindern und Schweinen.

Tabelle 280: CH_4 aus Wirtschaftsdünger-Management (Milchkühe, übrige Rinder, Schweine), prozentuale Beiträge zu CH_4 insgesamt aus Wirtschaftsdünger-Management, und Emissionsverhältnis Rinder : Schweine

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe	87,8	97,3	93,8	91,0	84,6	83,6	83,8	84,3	86,3	87,8	88,6	88,9	89,6	90,9	91,1
übrige Rinder	95,8	80,4	76,6	65,6	58,9	56,3	56,5	57,7	58,3	58,5	58,7	58,2	57,7	57,4	56,6
Schweine	122,4	101,3	112,8	110,0	96,6	98,9	103,5	101,9	104,2	102,7	103,3	105,3	102,6	101,7	103,3
Summe	306,1	279,0	283,2	266,5	240,1	238,7	243,8	243,9	248,7	248,9	250,5	252,4	249,9	250,0	251,0
%-Anteil	98,1	97,8	97,8	97,6	97,2	97,1	97,0	96,9	97,0	97,0	97,0	97,0	96,9	96,9	97,0
Rinder : Schweine	1,5	1,8	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4

Die durch Wirtschaftsdünger-Vergärung eingesparten CH_4-Emissionen gehen aus Tabelle 281 hervor. Ohne Vergärung wären sie zusätzlich zu den in Tabelle 279 angegeben Mengen emittiert

[91] IPCC gibt den *MCF* in Prozent (von B_o) an; im deutschen Inventar wird die eindeutigere Einheit m^3 m^{-3} verwendet.

worden. Die prozentualen Minderungen beziehen sich auf die Emissionen, die ohne Vergärung entstanden wären.

Tabelle 281: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der CH_4-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negatives Vorzeichen: Emissionsminderung)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
[kt a^{-1}]	-0,01	-0,08	-0,7	-6,6	-26,8	-33,1	-36,6	-41,6	-43,9	-44,7	-44,4	-45,6	-44,6	-43,4	-43,6
[%]	-0,003	-0,03	-0,2	-2,4	-9,8	-11,9	-12,7	-14,2	-14,6	-14,8	-14,7	-14,9	-14,7	-14,4	-14,4

5.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, CH_4)

Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Bei den Unsicherheit der Emissionsfaktoren für CH_4 im Bereich Wirtschaftsdünger-Management handelt es sich um Default-Angaben aus IPCC (2006b Vol 4, Table 10.48). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen), siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Vos et al. (2022).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit dergleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, CH_4)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung wurden analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 die für 2019 erhaltenen Ergebnisse und Eingangsdaten mit denen benachbarter Staaten sowie des Vereinigten Königreiches von 2019 (Submission 2021 für 2019, UNFCCC (2021a)) verglichen.

Tabelle 282 zeigt für Milchkühe den IEF für CH_4 aus dem Wirtschaftsdünger-Management und wichtige Einflussgrößen. Entsprechend der CRF-Vorgabe beziehen sich die prozentualen Anteile von Flüssigmistsystemen und die entsprechenden MCF-Werte nur auf Flüssigmistsysteme, deren Gülle nicht in einer Biogasanlage vergoren wird.

Die IEF-Werte der verglichenen Länder zeigen eine relativ große Streuung. Der Median (22,6 kg Platz^{-1} a^{-1}) liegt innerhalb der IPCC-Defaultwertspanne für den IEF, ebenso wie der deutsche IEF. Die für Deutschland berechnete tägliche VS-Ausscheidung markiert (ungefähr gleichauf mit Frankreich) das untere Ende der Skala. Der deutsche MCF von Flüssigsystemen liegt bei 86 % des Medians der verglichenen Länder, während die Verbreitung von Flüssigmistsystemen in Deutschland praktisch auf dem Niveau des Medians liegt.

Tabelle 282: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Zeitreihenjahr 2019

	IEF_{CH4}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
			Häufigkeit	mittlerer MCF
	[kg Platz^{-1} a^{-1}]	[kg Platz^{-1} d^{-1}]	[%]	[%]
Österreich	17,21	5,04	54,30	8,77
Belgien	26,07	4,55	47,70	19,00
Tschechische Republik	13,03	6,77	10,70	17,00
Dänemark	47,67	7,12	63,37	12,32
Frankreich	10,54	4,22	16,67	17,57
Deutschland	**22,67**	**4,06**	**57,91**	**14,62**
Niederlande	38,99	4,88	84,15	17,00
Polen	7,73	4,81	10,53	17,00
Schweiz	22,57	4,82	53,21	13,50
Vereinigtes Königreich	41,12	5,67	59,88	17,00
IPCC (2006b), Western Europe, cool region 10°C/11°C	21 bis 23	5,1	35,7	17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

Tabelle 283 zeigt für die übrigen Rinder den IEF für CH_4 aus dem Wirtschaftsdünger-Management und wichtige Einflussgrößen. Der deutsche IEF liegt knapp über dem Median. Die große Schwankungsbreite der IEF-Werte kann, außer auf unterschiedliche VS-Ausscheidungen und MCF-Werte, vor allem darauf zurückgeführt werden, dass es eine sehr unterschiedliche Verbreitung von Flüssigmist-Systemen gibt. Deutschland liegt hier mittig zwischen Median und drittem Quartil. Wie bei den Milchkühen liegt die deutsche VS-Ausscheidung unterhalb des Medians und dabei zwischen den Niederlanden und Belgien.

Aus Tabelle 284 geht hervor, dass auch bei den Schweinen der deutsche IEF für CH_4 aus dem Wirtschaftsdünger-Management im mittleren Bereich liegt: Er liegt leicht über dem Median.

Tabelle 283: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei übrigen Rindern verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2019

	IEF_{CH4}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
			Häufigkeit	mittlerer MCF
	[kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4]	[kg Platz^{-1} d^{-1}]	[%]	[%]
Österreich	6,18	2,13	34,86	8,26
Belgien	2,82	1,49	15,83	19,00
Tschechische Republik	3,56	2,95	6,60	17,00
Dänemark	14,59	3,25	31,66	12,32
Frankreich	3,19	1,91	2,58	18,94
Deutschland	**7,52**	**1,42**	**31,91**	**14,77**
Niederlande [a]	7,89	1,18	69,72	17,00
Polen	1,73	1,79	5,06	17,00
Schweiz [a]	6,19	2,49	30,67	13,50
Vereinigtes Königreich [b]	7,00	1,96	18,04	17,00
IPCC (2006b): Vol. 4, 10.38, 10.77, Western Europe, cool region 10°C/11°C	6 bis 7	2,6	25,2	17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

[a] berechnet aus CRF-Daten
[b] Vereinigtes Königreich: Rinder ohne Milchkühe und ohne Milchkuh-Nachzucht (incl. Kälber)

Tabelle 284: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter Parameter für das Jahr 2019

	IEF_{CH4}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
			Häufigkeit	mittlerer MCF
	[kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4]	[kg Platz^{-1} d^{-1}]	[%]	[%]
Österreich	1,15	0,30	86,10	3,39
Belgien	4,46	0,22	96,89	19,00
Tschechische Republik	6,26	NA	28,10	NO
Dänemark	3,41	0,18	82,38	13,33
Frankreich	4,17	0,19	86,19	21,95
Deutschland	**4,71**	**0,33**	**79,10**	**22,66**
Niederlande	5,73	0,42	49,46	36,00
Polen	1,38	0,31	24,90	17,00
Schweiz	4,00	0,31	81,73	13,50
Vereinigtes Königreich	4,07	0,25	35,95	17,00
IPCC (2006b Vol 4, 10.80, 10.81), Western Europe, cool region 10°C/11°C	Sau, Eber: 9 bis 10 übrige: 6	Sau, Eber: 0,46 übrige: 0,30		17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

Tabelle 285 zeigt für Geflügel den mittleren IEF, die mittlere VS-Ausscheidung sowie das mittlere Tiergewicht als Indikator für Energiebedarf und damit Futteraufnahme und Ausscheidungen. Sieht man beim IEF vom vergleichsweise sehr hohen tschechischen Wert ab, ergibt sich eine Spanne von 0,017 bis 0,034 kg Platz^{-1}a^{-1}. Der höchste IEF wird dabei von Deutschland berichtet, was daran liegt, dass die deutsche VS-Ausscheidung höher als bei den anderen Ländern ist (zumindest bei den sieben Ländern, die die VS-Ausscheidung berichten). Die deutsche VS-Ausscheidung markiert zwar die Obergrenze der Skala, bildet aber mit Dänemark, Frankreich und den Niederlanden eine Gruppe, deren VS-Ausscheidungen in der Größenordnung von Faktor 2 bis 2,5 über der Untergrenze des IPCC-Defaultbereiches liegen. Mittlere Geflügelgewichte werden nur von Belgien, Tschechien, Dänemark und Deutschland berichtet. Diese Werte sind in einer vergleichbaren Größenordnung, wobei das mittlere deutsche Geflügelgewicht näher an dem belgischen Wert liegt.

Tabelle 285: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Geflügel verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2019

	IEF_{CH4} [kg Platz^{-1}a^{-1}]	VS-Ausscheidungen [kg Platz^{-1}d^{-1}]	mittleres Tiergewicht [kg Tier^{-1}]
Österreich	0,024	0,02	NA
Belgien	0,023	NE	1,54
Tschechische Republik	0,100	NA	1,32
Dänemark	0,025	0,017	2,00
Frankreich	0,025	0,019	NE
Deutschland	**0,034**	**0,025**	**1,69**
Niederlande	0,031	0,023	NA
Polen	0,028	NA	NA
Schweiz	0,017	0,013	NA
Vereinigtes Königreich	0,012	0,013	NE
IPCC (2006b Vol4, 10.82), W-Europe, cool region, developed countries	0,02 bis 0,09 [a]	0,01 bis 0,07 [a]	0,9 bis 6,8 [a]

Quelle: Deutschland: Submission2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

[a] niedriger Wert: Legehennen; hoher Wert: Puten

5.3.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, CH_4)

Tabelle 286 bis Tabelle 288 zeigen für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel einen Vergleich der VS-Ausscheidungen, Emissionsfaktoren und Emissionen zwischen der aktuellen Submission und der Submission des Vorjahres.

Bei den VS-Ausscheidungen der Milchkühe und übrigen Rinder sind leichte Unterschiede zwischen beiden Submissionen festzustellen. Sie sind eine direkte Folge der energiebedarfs- und fütterungsbedingten Änderungen beiden Mutterkühen sowie der neuen Daten zum Weidegang aus der Landwirtschaftszählung 2020 , siehe Kapitel 5.1.3.3. Die Unterschiede bei den Schweinen und beim Geflügelgeht auf die in Kapitel 5.1.3.3 und Kapitel 5.1.3.2.3 genannten Änderungen bei den Fütterungsdaten der Mastschweine und Masthähnchen zurück. Auf die Änderungen bei den Emissionsfaktoren und Emissionen haben zusätzlich die neuen Daten zu den Anteilen von Haltungsverfahren und Lagerungsverfahren für Wirtschaftsdünger aus der Landwirtschaftszählung 2020 einen starken Einfluss, siehe Kapitel 5.1.3.3.

Tabelle 286: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten VS-Ausscheidungen (3.B(a))

[kg Platz^{-1}d^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe 2022	2,95	3,24	3,46	3,62	3,73	3,77	3,80	3,80	3,85	3,88	3,91	3,92	3,99	4,06
Milchkühe 2021	2,95	3,24	3,46	3,62	3,73	3,77	3,79	3,79	3,84	3,87	3,90	3,90	3,97	4,04
übrige Rinder 2022	1,27	1,33	1,38	1,37	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,40	1,40	1,40	1,41	1,42
übrige Rinder 2021	1,26	1,31	1,36	1,35	1,38	1,37	1,37	1,37	1,38	1,38	1,38	1,39	1,40	1,41
Schweine 2022	0,298	0,314	0,324	0,315	0,308	0,310	0,312	0,314	0,316	0,321	0,324	0,326	0,329	0,329
Schweine 2021	0,264	0,278	0,284	0,287	0,294	0,295	0,297	0,299	0,302	0,302	0,305	0,307	0,309	0,310
Geflügel 2022	0,0225	0,0219	0,0234	0,0256	0,0271	0,0262	0,0253	0,0241	0,0246	0,0250	0,0252	0,0254	0,0255	0,0255
Geflügel 2021	0,0225	0,0218	0,0234	0,0255	0,0271	0,0263	0,0254	0,0242	0,0248	0,0252	0,0254	0,0255	0,0258	0,0257

Tabelle 287: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten tierplatzbezogenen CH_4-Emissionsfaktoren für das Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe 2022	13,8	18,6	20,5	21,5	20,2	19,9	20,0	19,8	20,1	20,5	21,0	21,2	21,9	22,7
Milchkühe 2021	13,8	18,6	20,5	21,6	20,5	20,0	19,8	19,3	19,4	19,6	19,8	19,8	20,2	20,6
übrige Rinder 2022	7,30	7,54	7,68	7,45	6,82	6,75	6,80	6,85	6,90	7,01	7,11	7,20	7,35	7,52
übrige Rinder 2021	7,26	7,44	7,60	7,58	7,11	6,93	6,88	6,84	6,79	6,80	6,82	6,82	6,88	6,93
Schweine 2022	4,62	4,97	5,18	4,84	4,34	4,34	4,38	4,36	4,40	4,47	4,54	4,59	4,66	4,71
Schweine 2021	4,05	4,38	4,52	4,39	4,12	4,09	4,10	4,06	4,08	4,06	4,10	4,13	4,17	4,17
Geflügel 2022	0,0313	0,0304	0,0322	0,0349	0,0365	0,0353	0,0339	0,0324	0,0330	0,0334	0,0338	0,0340	0,0342	0,0342
Geflügel 2021	0,0314	0,0302	0,0321	0,0348	0,0366	0,0354	0,0341	0,0325	0,0332	0,0337	0,0340	0,0342	0,0346	0,0345

Tabelle 288: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berichteten CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
alle Tiere 2022	**312,1**	**285,2**	**289,4**	**273,1**	**246,9**	**245,8**	**251,3**	**251,7**	**256,5**	**256,7**	**258,3**	**260,2**	**257,8**	**257,9**
alle Tiere 2021	**296,6**	**272,1**	**274,3**	**264,8**	**245,7**	**241,9**	**244,7**	**242,9**	**245,1**	**241,8**	**241,2**	**240,8**	**236,6**	**233,3**
Milchkühe 2022	87,8	97,3	93,8	91,0	84,6	83,6	83,8	84,3	86,3	87,8	88,6	88,9	89,6	90,9
Milchkühe 2021	87,8	97,3	93,8	91,5	85,8	83,7	82,9	82,5	83,4	83,8	83,7	83,1	82,9	82,6
übrige Rinder 2022	95,8	80,4	76,6	65,6	58,9	56,3	56,5	57,7	58,3	58,5	58,7	58,2	57,7	57,4
übrige Rinder 2021	95,4	79,3	75,8	66,7	61,3	57,8	57,2	57,5	57,3	56,8	56,2	55,1	54,0	52,9
Schweine 2022	122,4	101,3	112,8	110,0	96,6	98,9	103,5	101,9	104,2	102,7	103,3	105,3	102,6	101,7
Schweine 2021	107,4	89,3	98,4	99,9	91,7	93,3	97,0	95,0	96,6	93,4	93,4	94,7	91,7	90,0
Geflügel 2022	3,57	3,38	3,86	4,21	4,71	5,12	5,47	5,74	5,81	5,85	5,86	5,90	5,93	5,92
Geflügel 2021	3,58	3,36	3,86	4,20	4,71	5,13	5,49	5,77	5,84	5,89	5,91	5,96	6,06	6,06

5.3.2.6 Geplante Verbesserungen (3.B, CH_4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.3.3 NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

5.3.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (NMVOC)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.3.2 Methodische Aspekte (NMVOC)

5.3.3.2.1 Methodik (NMVOC)

IPCC (2006b) gibt keine Methode zur Berechnung von NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management an. EMEP/EEA (2019) stellt Methoden und die dazugehörigen Parameter bereit. Deutschland berechnet die NMVOC-Emissionen getrennt nach Tierkategorien, wobei für Milchkühe und übrige Rinder die Tier-2-Methodik (EMEP/EEA, 2019-3B-28) und für die übrigen Tiere die Tier-1-Methodik (EMEP/EEA, 2019 -3B-18) verwendet wird. Bei der einfachen Tier-1-Methodik wird die Tierzahl mit einem tierplatzbezogenen Emissionsfaktor multipliziert. Die Stufe-2-Methodik berechnet die tierbezogenen NMVOC-Emissionen als Summe der Emissionen aus dem Silagelager, aus der Fütterung mit Silage, aus dem Stall, aus dem Wirtschaftsdünger-Management, aus der Ausbringung und aus dem Weidegang. Zur Ermittlung der Verhältnisse dieser Teil-Emissionen zueinander greift die Methodik auf die entsprechenden Verhältnisse der NH_3-Emissionen zurück. Diese NH_3-Emissionen werden im deutschen Inventarmodell Py-GAS-EM für die Berichterstattung unter der Genfer Luftreinhaltekonvention (United Nations Economic Comission for Europe, 1979) konsistent zu den Treibhausgasemissionen berechnet.

Zu weiteren Details der NMVOC-Emissionsberechnungen siehe Vos et al. (2022), Kapitel 3.3.4.2. Für den Gleichungssatz der Tier-2-Methode wird auf EMEP/EEA (2019-3B-29)verwiesen.

5.3.3.2.2 Emissionsfaktoren (NMVOC)

Für die Tier-1-Methodik gibt EMEP/EEA (2019 -3B-18)unterschiedliche Emissionsfaktoren für Fütterung mit und ohne Silage an. Für Pferde werden davon im deutschen Inventar die Emissionsfaktoren für Silagefütterung angenommen, für die übrigen Tiere, für die eine Tier-1-Berechnung erfolgt, die Faktoren für eine Fütterung ohne Silage. Tabelle 289 zeigt die Liste der im Inventar verwendeten Emissionsfaktoren. Dazu wurde, wegen fehlender oder nicht den Inventar-Tierkategorien entsprechender Emissionsfaktoren, für Aufzuchtferkel, Eber, Schafe, Pferde und Junghennen Folgendes festgelegt, siehe Kapitel 3.3.4.2.1 in Vos et al. (2022):

- In konservativer Weise wird für Eber der Emissionsfaktor von Sauen und für Aufzuchtferkel der von Mastschweinen übernommen.
- Der in EMEP/EEA (2019) angegebene Emissionsfaktor für Schafe wird als Emissionsfaktor für erwachsene Schafe interpretiert. Der Emissionsfaktor für Lämmer wird mit 40 % des Emissionsfaktors für erwachsene Schafe angesetzt.
- Der in EMEP/EEA (2019) angegebene Emissionsfaktor für Pferde wird als Emissionsfaktor für Großpferde interpretiert. Für Kleinpferde und Ponys wird der in EMEP/EEA (2019) angegebene Emissionsfaktor für Esel und Maultiere verwendet.
- Wegen der Ähnlichkeit des Haltungsverfahrens wird für Junghennen der Emissionsfaktor von Masthähnchen übernommen.

Tabelle 289: NMVOC: Im Inventar verwendete Tier-1- Emissionsfaktoren nach EMEP/EEA (2019)

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	Tier-1-EF$_{NMVOC}$
Sauen, Eber	1,704
Mastschweine, Aufzuchtferkel	0,551
erwachsene Schafe	0,169
Lämmer	0,068
Ziegen	0,542
Großpferde	7,781
Kleinpferde und Ponys	3,018
Legehennen	0,165
Masthähnchen, Junghennen	0,108
Gänse, Enten und Puten	0,489

Tabelle 290 zeigt für ausgewählte Jahre die berechneten Tier-2-Gesamtemissionsfaktoren (IEF) der Milchkühe und der übrigen Rinder.

Tabelle 290: NMVOC: Im Inventar berechneten Tier-2- Emissionsfaktoren (IEF)

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	1990	2005	2019
Milchkühe	30,94	36,71	40,80
übrige Rinder	11,74	11,72	11,57

Der ansteigende Trend des IEF der Milchkühen seit 1990 ist eine direkte Folge des Leistungsanstiegs, der über die GE-Aufnahme Eingang in die Berechnung findet. Die zeitliche Entwicklung des IEF der übrigen Rinder unterliegt dem Einfluss der Leistungssteigerung bei den Masttieren und der zeitlich variierenden Zusammensetzung der Population (da der IEF der verschiedenen Unterkategorien der übrigen Rinder unterschiedlich hoch ist).

Auffällig ist der große Unterschied zwischen den Tier-2-Emissionsfaktoren und den Tier-1-Emissionsfaktoren für Milchkühe und übrige Rinder (mit Silagefütterung). Letztere liegen nach EMEP/EEA (2019 -3B-18), bei 17,937 kg pl^{-1} a^{-1} (Milchkühe) bzw. 8,902 kg pl^{-1} a^{-1} (übrige

Rinder). Diese großen Unterschiede können nur damit erklärt werden, dass die beiden Methoden nicht konsistent sind.

5.3.3.2.3 Emissionen (NMVOC)

Die unter CRF 3s1 zu berichtenden NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management gehen aus Tabelle 291 hervor.

Tabelle 291: NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**391,2**	**332,9**	**318,9**	**298,3**	**297,2**	**297,4**	**299,4**	**304,6**	**306,9**	**305,7**	**302,7**	**300,0**	**296,2**	**293,5**	**289,8**
in % von 1990	**100,0**	**85,1**	**81,5**	**76,2**	**76,0**	**76,0**	**76,5**	**77,8**	**78,5**	**78,1**	**77,4**	**76,7**	**75,7**	**75,0**	**74,1**
Milchkühe	196,6	171,0	162,1	155,5	155,8	157,6	157,7	159,9	162,8	163,5	162,6	161,8	161,3	161,0	160,0
übrige Rinder	154,2	125,0	118,2	103,1	101,6	97,5	96,8	97,8	97,5	96,3	94,7	92,7	90,1	88,0	85,4
Schweine	18,4	14,2	15,0	15,5	14,9	15,1	15,5	15,3	15,4	15,0	14,8	14,9	14,3	14,0	13,9
Schafe	0,43	0,39	0,36	0,35	0,30	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
Ziegen	0,05	0,05	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Pferde	3,2	4,1	3,3	3,4	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0
Geflügel	18,3	18,1	19,8	20,3	21,6	23,8	26,0	28,2	27,9	27,7	27,4	27,3	27,3	27,2	27,2

Tabelle 292 verdeutlicht, dass die Emissionen zum weitaus größten Anteil auf die Rinderhaltung zurückgehen. Die Abnahme der NMVOC-Emissionen seit 1990 ist somit fast ausschließlich mit dem Rückgang der Rinderzahlen zu erklären (R^2 = 94,8 %). Der relative Emissionsbeitrag der Geflügelhaltung ist gegenüber 1990 aufgrund steigender Geflügelzahlen stark angestiegen und liegt am Ende der Zeitreihe deutlich über dem Gesamtbeitrag der übrigen Tiere.

Tabelle 292: Prozentuale Beiträge zu den NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Rinder	89,7	88,9	87,9	86,7	86,6	85,8	85,0	84,6	84,8	85,0	85,0	84,8	84,9	84,8	84,7
Geflügel	4,7	5,4	6,2	6,8	7,3	8,0	8,7	9,3	9,1	9,0	9,0	9,1	9,2	9,3	9,4
übrige Tiere	5,7	5,6	5,9	6,5	6,2	6,2	6,3	6,1	6,1	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9	5,9

5.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (NMVOC)

EMEP/EEA (2019-3B-37)betont die sehr große Unsicherheit der Emissionsfaktoren, macht aber keine quantitativen Angaben dazu. Das deutsche Inventar geht von einem 95 % - Konfidenzintervall von [-79 %, +200 %] aus, siehe dazu Kap. 3.3.4.2.3 in Vos et al. (2022). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Vos et al. (2022).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.3.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (NMVOC)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

5.3.3.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (NMVOC)

Bei den Rindern gibt es Abweichungen der NMVOC-Emissionsfaktoren und damit der NMVOC-Emissionen gegenüber dem NIR 2021, während bei den übrigen Tierkategorien die NMVOC-Emissionen mit dem NIR 2021 übereinstimmen. Tabelle 293 zeigt die in Submission 2022 und 2021 unterschiedlichen Emissionswerte; auf eine Darstellung der unterschiedlichen Emissionsfaktoren wird verzichtet, da die Emissionen direkt proportional zu den Emissionsfaktoren sind. Die Differenzen in Tabelle 293 zwischen beiden Submissionen sind ganz überwiegend eine Folge der Verwendung der neuen Daten zur Tierhaltung aus der Landwirtschaftszählung 2020, welche sich rückwirkend bis zum Jahr 2000 auswirken.

Tabelle 293: Vergleich der NMVOC-Emissionen zwischen NIR 2022 und NIR 2021 für Milchkühe und übrige Rinder

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe 2022	196,6	171,0	162,1	155,5	155,8	157,6	157,7	159,9	162,8	163,5	162,6	161,8	161,3	161,0
Milchkühe 2021	196,6	171,0	162,1	155,5	155,8	157,5	157,4	159,4	162,0	162,4	161,8	161,2	160,8	160,8
übrige Rinder 2022	154,2	125,0	118,2	103,1	101,6	97,5	96,8	97,8	97,5	96,3	94,7	92,7	90,1	88,0
übrige Rinder 2021	153,7	124,3	117,3	102,5	101,1	97,4	96,9	98,1	98,0	97,0	95,8	94,2	91,9	90,1

5.3.3.6 Geplante Verbesserungen (NMVOC)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.3.4 Direkte N_2O- und NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, N_2O & NO)

5.3.4.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.4.2 Methodische Aspekte (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

5.3.4.2.1 Methodik (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Die Berechnung der N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management erfolgt für alle Tierkategorien getrennt unter Berücksichtigung der gegebenen Managementsysteme (einschließlich der Wirtschaftsdünger-Vergärung, siehe Kapitel 5.1.3.6.5):

Gleichung 15: Berechnung der N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

$$E_{\mathrm{N2O\text{-}N}} = \sum_{i,j} [(N_{\mathrm{excr,\,i}} + N_{\mathrm{straw,i,\,j}}) \cdot MS_{\mathrm{i,\,j}}] \cdot EF_{\mathrm{N2O\text{-}N,\,j}}$$

mit:

$E_{\mathrm{N2O\text{-}N}}$	Gesamte N_2O-N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (kg a^{-1} N_2O-N)
$N_{\mathrm{excr,\,i}}$	Gesamte N-Ausscheidung der Tierkategorie i (kg a^{-1} N)
$N_{\mathrm{straw,\,i,\,j}}$	N-Eintrag durch Einstreu für Tierkategorie i und Wirtschaftsdünger-Managementsystem j (kg a^{-1} N)
$MS_{\mathrm{i,\,j}}$	relativer Anteil des Wirtschaftsdünger-Managementsystems j in Tierkategorie i (Platz Platz^{-1})
$EF_{\mathrm{N2O\text{-}N,\,j}}$	N_2O-N-Emissionsfaktor für Wirtschaftsdünger-Managementsystem j (kg kg^{-1} N_2O-N)

Zu Gesamt-N-Ausscheidungen und Gesamt-N-Einträgen durch Einstreu siehe Kapitel 5.1.3.4 und 5.1.3.6.2. Zu den relativen Häufigkeiten der Wirtschaftsdünger-Managementsysteme siehe Kapitel 5.1.3.6.1 und 19.3.2.

Die NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management werden analog zu den N_2O-Emissionen berechnet.

N_2O- und NO-Emissionen infolge von Wirtschaftsdüngerausbringung und Weidegang werden unter 3.D berichtet.

5.3.4.2.2 Emissionsfaktoren (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Für die Güllelagerung werden, soweit vorhanden, die in IPCC (2006b) angegebenen Default-Emissionsfaktoren verwendet: Außenlager ohne natürliche Schwimmdecke (entspricht „Außenlager ohne Abdeckung“ in Tabelle 294), Außenlager mit natürlicher Schwimmdecke, Lagerung unterhalb Spaltenboden. Für die in IPCC (2006b Vol 4) nicht genannte Güllelagerung mit fester Abdeckung oder mit künstlicher Schwimmdecke (Häcksel) wird konservativ der Emissionsfaktor der Außenlagerung mit natürlicher Schwimmdecke übernommen. Für die in

IPCC (2006b Vol 4) ebenfalls nicht genannte Güllelagerung unter Folienabdeckung wird angenommen, dass der Emissionsfaktor der Außenlagerung ohne natürliche Schwimmdecke übernommen werden kann.

Bei Festmistsystemen wird nach Anbindehaltung/Laufstall (mit Lagerung im Misthaufen) und Tiefstreu differenziert. Bei der Tiefstreu-Haltung kennt die landwirtschaftliche Praxis in Deutschland keine aktive Durchmischung (Expertenurteil, Brigitte Eurich-Menden et al. siehe Kap. 4.2.2.2 und 5.2.2.2 in Vos et al. (2022)). Für Tiefstreu wird daher der IPCC (2006b) Defaultwert von 0,010 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ IPCC (2006b Vol 4, 10.63)verwendet. Für die Lagerung von Festmist aus Anbindehaltung/Laufstall bzw. für Geflügelkot werden die IPCC (2006b) Defaultwerte von 0,005 bzw. 0,001 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ IPCC (2006b Vol 4, 10.63) verwendet.

Die Vergärung von Wirtschaftsdünger einschließlich Gärrestelagerung wird von IPCC (2006b Vol 4, 10.63)als eigenständiger Lagertyp angesehen, aus dem keine N_2O-Emissionen erfolgen (EF = 0 kg kg^{-1}). Dieser IPCC-Defaultansatz berücksichtigt u. a. nicht, dass aus offenen Gärrestlagern N_2O emittiert wird. Das deutsche Inventar berechnet daher von Null verschiedene N_2O-Emissionen aus der Vergärung von Wirtschaftsdünger, differenziert nach verschiedenen Wirtschaftsdünger- und Gärrestelagerarten, siehe Kapitel 5.1.3.6.5.

Tabelle 294 zeigt die für die vorliegende Submission 2022 verwendeten N_2O-N-Emissionsfaktoren.

Tabelle 294: Emissionsfaktoren für Emissionen von N_2O-N aus dem Wirtschaftsdünger-Management, ohne Vergärung (bezogen auf die Summe von ausgeschiedenem N und Einstreu-N) (3.B(b))

Wirtschaftsdünger		Emissionsfaktor [kg kg^{-1}]
Gülle	Außenlager ohne Abdeckung [a]	0,000
	feste Abdeckung [b]	0,005
	natürliche Schwimmdecke [a]	0,005
	Schwimmdecke (Häcksel) [b]	0,005
	Schwimmdecke (Folie) [c]	0,000
	unterhalb Spaltenboden [a]	0,002
Jauche [d]	feste Abdeckung	0,005
Festmist		0,005
Tiefstreu [a]		0,010
Geflügelfestmist bzw. –kot [a]		0,001

[a] Quelle: IPCC (2006b Vol 4)

[b] Worst-Case-Annahme: Wie natürliche Schwimmdecke, da keine Angaben verfügbar.

[c] Annahme: Bei Folienschwimmdecken tritt keine N_2O-Bildung auf.

[d] Annahme: Vergleichbar mit Lagerung von Gülle unter fester Abdeckung

IPCC (2006b Vol 4) gibt keine Emissionsfaktoren für NO an. Die in EMEP/EEA (2019-3B-17) angegebenen Tier-1-Emissionsfaktoren beziehen sich auf den Tierplatz. Sie können nicht im Inventarmodell Py-GAS-EM verwendet werden, da Py-GAS-EM im Rahmen des N-Fluss-Konzeptes (siehe Kapitel 5.1.2.4) Emissionsfaktoren benötigt, die sich auf die emissionsrelevante N-Menge beziehen. Vergleichsrechnungen haben aber gezeigt, dass die mit den Tier-1-Emissionsfaktoren berechneten deutschen NO-Gesamtemissionen des Sektors 3.B mit dem N-Fluss-Konzept von Py-GAS-EM reproduziert werden können, wenn der auf N bezogene NO-N-Emissionsfaktor um eine Größenordnung kleiner als der N_2O-N-Emissionsfaktor ist. Daher wurde im Inventar der NO-N-Emissionsfaktor mit 10 % des N_2O-N-Emissionsfaktors angesetzt. Dieser Ansatz führt zu NO-Emissionen, die den N_2O-Emissionen direkt proportional sind.

Emissionsfaktoren zu N_2 (im N-Fluss-Konzept ebenfalls zu berücksichtigen, siehe Kapitel 5.1.2.4) werden weder von IPCC noch von EMEP angegeben. Jarvis and Pain (1994) fanden für das

Verhältnis von N_2-Emissionen zu N_2O-N–Emissionen einen Wert von 3:1. Daher wurde im Inventar angenommen, dass der N_2-Emissionsfaktor das Dreifache des N_2O-N-Emissionsfaktors beträgt.

Tabelle 295 zeigt die Zeitreihen der mittleren N_2O-N-Emissionsfaktoren für die vier berichterstattungsrelevanten übergreifenden Wirtschaftsdünger-Managementkategorien „gülle-basiert (ohne Vergärung)“, „strohbasiert (ohne Tiefstreu und ohne Vergärung)“, „Tiefstreu (ohne Vergärung)“ und „Vergärung (von Wirtschaftsdünger)“. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wird in Abweichung von der sonst für die Emissionsfaktoren üblichen Einheit (kg kg^{-1}, siehe Tabelle 294) die Einheit g kg-1 verwendet. Diese Emissionsfaktoren sind definiert als das Verhältnis der gesamten N_2O-N-Emissionen aus einer Managementkategorie zur Summe der tierischen N-Ausscheidungen in dieser Managementkategorie. Dabei umfassen die Gesamt-N_2O-Emissionen bei den Kategorien mit Einstreu auch Emissionsanteile, die auf Einstreu-N zurückgehen. Aus diesem Grund ist in Tabelle 295 der resultierende Emissionsfaktor für Tiefstreu höher als der in Tabelle 294 angegebene. Gleiches gilt prinzipiell auch für strohbasierte Systeme ohne Tiefstreu und Vergärung, wobei der Effekt nicht auffällt, weil in die entsprechenden Werte in Tabelle 295 auch der erheblich niedrigere Geflügel-Emissionsfaktor (siehe Tabelle 294) eingeht. Auffällig ist der negative Trend bei den N_2O-N-Emissionsfaktoren für strohbasierte Systeme und den Systemen mit Vergärung über die gesamte Zeitreihe. Bei den strohbasierten Systemen ist dies eine Folge der abnehmenden N_2O-Beiträge aus Festmistsystemen in der Rinder- und Schweinehaltung, was auf die veränderten Tierzahlen in den jeweiligen Haltungsverfahren zurückzuführen ist. Bei der Vergärung ist der Grund in erster Linie in der zunehmenden Verbreitung gasdichter Gärrestelagerung zu finden (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Die Abweichungen der Daten in Tabelle 295 von der entsprechenden Tabelle im NIR 2021 sind eine Folge der Modell- und Aktivitätsdatenänderungen von Submission 2021 zur vorliegenden Submission 2022.

Tabelle 295: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b))

[g kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
güllebasiert [a]	3,05	3,42	3,38	3,37	3,38	3,34	3,30	3,27	3,24	3,21	3,18	3,14	3,12	3,09	3,06
strohbasiert [b]	4,89	4,61	4,45	4,42	4,28	4,11	3,99	3,86	3,82	3,76	3,71	3,63	3,56	3,49	3,45
Tiefstreu [a]	11,28	11,41	11,40	11,36	11,35	11,38	11,41	11,45	11,47	11,49	11,51	11,54	11,56	11,57	11,59
Vergärung	5,44	5,10	4,86	4,57	3,33	3,06	2,48	2,37	2,27	2,23	2,20	2,20	2,17	2,13	2,12

[a] ohne Vergärung

[b] ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

5.3.4.2.3 Emissionen (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Tabelle 296 zeigt die direkten N_2O-Gesamtemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (einschließlich Lagerung der Wirtschaftsdünger-Gärreste) und ihre Aufschlüsselung nach Systemkategorien. Die starke Abnahme der Emissionen in der ersten Hälfte der 1990er Jahre ist im Wesentlichen eine Folge des Rückgangs der Tierbestände nach der deutschen Wiedervereinigung. Zusätzliche Einflussfaktoren sind die zeitliche Veränderung der Verteilung der Managementsysteme (siehe Kapitel 5.1.3.6.1 und 19.3.2) sowie die mit den Jahren zunehmende Emissionsminderung durch Vergärung von Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.1.3.6.5).

Tabelle 296: Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (MM) insgesamt und nach Systemkategorien (3.B(b))

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MM gesamt	8,28	7,43	7,25	7,20	7,11	6,98	6,88	6,87	6,91	6,87	6,82	6,77	6,66	6,60	6,53
in % von 1990	100,0	89,8	87,6	87,0	85,9	84,4	83,1	83,1	83,5	83,0	82,5	81,9	80,5	79,7	78,9
güllebasiert [a]	4,17	4,41	4,27	3,93	3,35	3,22	3,20	3,12	3,12	3,09	3,07	3,03	2,98	2,96	2,93
strohbasiert [b]	3,25	2,12	1,98	1,94	1,94	1,81	1,74	1,66	1,60	1,52	1,44	1,36	1,28	1,21	1,13
Tiefstreu [a]	0,86	0,90	0,96	1,10	1,13	1,17	1,26	1,36	1,46	1,52	1,59	1,65	1,70	1,76	1,81
Vergärung	0,00	0,00	0,04	0,23	0,69	0,78	0,68	0,74	0,74	0,74	0,72	0,73	0,70	0,67	0,66

[a] ohne Vergärung

[b] ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

Die durch Wirtschaftsdünger-Vergärung erzielte absolute und prozentuale Einsparung von N_2O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung geht aus Tabelle 297 hervor. Positive Werte bedeuten eine Zunahme der Emissionen. Diese Zunahme ist im Wesentlichen darauf zurück zu führen, dass die Lagerung der Gärreste, wenn sie nicht gasdicht erfolgt, zu höheren N_2O-Emissionen als die herkömmliche Lagerung von Wirtschaftsdünger führt. Darüber hinaus erzeugt bei Geflügelkot die Gärrestelagerung generell höhere N_2O-Emissionen als die Lagerung unvergorenen Geflügelkots. Für die gesamte Wirtschaftsdünger-Vergärung führt erst der mit den Jahren ansteigende Anteil der gasdichten Lagerung (siehe Kapitel 5.1.3.6.5) ab 2006/2007 zur Einsparung von N_2O-Emissionen.

Tabelle 297: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der direkten N_2O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negative Werte: Emissionsminderung)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
[kt a^{-1}]	0,0001	0,0008	0,006	0,04	-0,12	-0,21	-0,37	-0,43	-0,47	-0,48	-0,47	-0,47	-0,46	-0,45	-0,44
[%]	0,001	0,011	0,08	0,6	-1,7	-2,9	-5,1	-5,9	-6,4	-6,5	-6,4	-6,5	-6,4	-6,3	-6,3

Tabelle 298 zeigt die NO-Gesamtemissionen der Quellgruppe 3.B. Wegen der Proportionalität der Emissionsfaktoren von NO und N_2O sind die zeitlichen Trends für NO identisch mit denen für N_2O.

Tabelle 298: NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	1,129	1,013	0,989	0,981	0,970	0,952	0,938	0,937	0,942	0,937	0,931	0,924	0,908	0,899	0,890

5.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Die Schätzung der Unsicherheit der N2O-Emissionsfaktoren (95 % - Konfidenzintervall) beruht auf Defaultangaben in IPCC (2006b Vol 4, Table 10.21). Siehe dazu auch Kap. 4.2.2.4 und 14.4.1 in Vos et al. (2022). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Vos et al. (2022).

Mangels Daten zur Unsicherheit des NO-Emissionsfaktors wird die Unsicherheit des N_2O-Emissionsfaktors übernommen.

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.4.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung wurde analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 für 2019 ein Vergleich der N-Ausscheidungen und der N_2O-Emissionenen aus dem Wirtschaftsdünger-Management in Deutschland und benachbarten Staaten inklusive des Vereinigten Königreiches durchgeführt, Tabelle 299 und Tabelle 300.

Bei den N-Ausscheidungen der Milchkühe liegt Deutschland rund 6 % über dem Median und in plausibler Nähe zu anderen Ländern. Bei der N-Ausscheidung der übrigen Rinder liegt der deutsche Wert etwa auf dem Niveau des Medians. Die deutschen N-Ausscheidungen für die Schweine stellen den zweithöchsten Wert dar. Es erhebt sich dabei die Frage nach der Definition des Mittelwertes für die gesamte Schweinepopulation: Deutschland berechnet den Mittelwert regelkonform für einen AAP-Platz, der 365 Tage im Jahr besetzt ist, siehe Kap. 3.1.2.2 in Vos et al. (2022), während sich die niedrigeren N-Ausscheidungen der übrigen Länder möglicherweise zum Teil durch eine nicht AAP-konsistente Berücksichtigung von Leerstandszeiten erklären lassen.

Beim Geflügel liegt Deutschland am oberen Ende des Wertebereichs. Die Unkenntnis über die Zusammensetzung der Gesamtpopulation in den verschiedenen Ländern erschwert den direkten Vergleich, da die verschiedenen Geflügelarten sehr unterschiedliche Ausscheidungsniveaus aufweisen (siehe Spannbreite nach EMEP/EEA (2019-3B-31)).

Tabelle 299: N-Ausscheidung pro Tierplatz für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Zeitreihenjahr 2019

	Milchkühe [kg Platz^{-1} a^{-1}]	Übrige Rinder [kg Platz^{-1} a^{-1}]	Schweine [kg Platz^{-1} a^{-1}]	Geflügel [kg Platz^{-1} a^{-1}]
Österreich	107,11	45,48	9,33	0,55
Belgien	121,41	53,84	8,83	0,56
Tschechische Republik	109,20	58,71	11,80	0,51
Dänemark	156,20	42,82	7,57	0,46
Frankreich	115,58	59,97	9,47	0,48
Deutschland	**119,47**	**43,32**	**13,04**	**0,67**
Niederlande [a]	83,80	39,48	14,06	0,59
Polen	112,90	51,08	10,88	0,65
Schweiz [a]	111,65	39,63	9,34	0,47
Vereinigtes Königreich [b]	112,90	44,35	10,17	0,57
IPCC (2006b Vol 4, 10.59, 10.72, 10.78, 10.80-10.82):	105,1 [c]	50,6 [c]	9,3 / 30,4 [c,d]	0,53 [c, e]
EMEP/EEA (2019-3B-31)	105	41	12,1 / 34,5 [d]	0,36 bis 1,64

Quelle: Deutschland: Submission 2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

[a] Niederlande und Schweiz, übrige Rinder: berechnet aus CRF-Daten

[b] Vereinigtes Königreich: Rinder-Daten unterscheiden zwischen Milchrindern (Milchkühe und Milchkuhnachzucht incl. Kälber) und den verbleibenden anderen Rindern

c IPCC-Gewichte: berechnet nach IPCC (2006b Vol 4) mit den IPCC-Standardwerten für Gewicht und N-Ausscheidung und im Falle von Geflügel mit den deutschen Tierzahlen der Geflügelunterkategorien (Submission 2022)

d IPCC (2006b Vol 4) Sauen und Eber: 30,4, andere: 9,3; EMEP/EEA (2019): Sauen: 34,5, Mastschweine: 12,1

e Geflügel: Annahmen für fehlende Werte: Gewicht Gänse = 1/2 Standardgewicht Puten IPCC (2006b Vol 4), N-Ausscheidung Gänse = Standard-N-Ausscheidung Puten (IPCC (2006b Vol 4)), Gewicht Junghennen = 1/2 Standardgewicht Legehennen IPCC (2006b Vol 4), N-Ausscheidung Junghennen = Standard-N-Ausscheidung Legehennen IPCC (2006b Vol 4)

Tabelle 300 zeigt eine Gegenüberstellung der IEFs der direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel. Die von den verschiedenen Ländern angegebenen Daten variieren jeweils über einen großen Bereich. Eine Erklärung für die Schwankungsbreite ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich. Für Milchkühe liegt Deutschland knapp über dem Median, für die übrigen Rinder knapp darunter. Bei den Schweinen liegt der deutsche Wert rund 15% oberhalb des Medians und damit ungefähr auf dem Niveau von Tschechien und Dänemark. Beim Geflügel weist Deutschland den drittgrößten Wert auf, und liegt damit deutlich über dem Großteil der Nachbarländer. Letzteres lässt sich dadurch erklären, dass der deutsche Geflügel-IEF auch die N_2O-Emissionen aus Vergärung von Geflügelmist und anschließender Gärrestlagerung einschließt, deren effektiver Emissionsfaktor deutlich höher ist als der Emissionsfaktor für die konventionelle Lagerung von Geflügelkot.

Tabelle 300: IEFs der direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Jahr 2019

	Milchkühe [kg Platz^{-1} a^{-1}]	Übrige Rinder [kg Platz^{-1} a^{-1}]	Schweine [kg Platz^{-1} a^{-1}]	Geflügel [kg Platz^{-1} a^{-1}]
Österreich	0,668	0,380	0,046	0,00079
Belgien	0,713	0,552	0,030	0,00088
Tschechische Republik	0,579	0,317	0,055	0,00387
Dänemark	0,945	0,370	0,058	0,00071
Frankreich	0,402	0,182	0,004	0,00069
Deutschland	**0,604**	**0,323**	**0,058**	**0,00122**
Niederlande [a]	0,408	0,233	0,027	0,00094
Polen	0,796	0,353	0,085	0,00103
Schweiz [a]	0,330	0,142	0,024	0,00071
Vereinigtes Königreich [b]	0,516	0,578	0,169	0,00492

Quelle: Deutschland: Submission 2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

[a] Niederlande und Schweiz, übrige Rinder: berechnet aus CRF-Daten

[b] Vereinigtes Königreich: Rinder-Daten unterscheiden zwischen Milchrindern (Milchkühe und Milchkuhnachzucht incl. Kälber) und den verbleibenden anderen Rindern

5.3.4.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Tabelle 301 zeigt die direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management im Vergleich mit Ergebnissen der Submission 2021. Die zugrunde liegenden Daten der N-Ausscheidung gehen aus Tabelle 302 hervor.

Bei den N-Ausscheidungen sind deutliche Unterschiede zwischen beiden Submissionen festzustellen. Sie sind ein Ergebnis der energiebedarfs- und fütterungsbedingten Änderungen bei Mutterkühen, Mastschweinen und Masthähnchen sowie der Berücksichtigung neuer Daten zum Weidegang aus der Landwirtschaftszählung 2020, siehe Kapitel 5.1.3.3. Die Unterschiede der N-Ausscheidungen führen zu Unterschieden in den N_2O Emissionen. Zusätzlich unterscheiden diese sich durch Verwendung der neuen Daten zur Tierhaltung aus der Landwirtschaftszählung 2020, welche sich rückwirkend bis zum Jahr 2000 auswirken.

Tabelle 301: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten direkten Gesamt-N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022	8,276	7,431	7,251	7,197	7,111	6,982	6,882	6,874	6,908	6,870	6,824	6,774	6,660	6,596
2021	8,225	7,419	7,286	7,336	7,314	7,182	7,080	7,056	7,086	7,006	6,957	6,904	6,782	6,701

Tabelle 302: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten Gesamt-N-Ausscheidungen (siehe Kapitel 5.1.3.4)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022	1555,1	1336,2	1301,0	1253,9	1246,6	1249,5	1267,5	1280,7	1294,6	1293,0	1283,9	1277,9	1257,0	1245,8
2021	1534,9	1328,1	1298,8	1256,1	1255,3	1259,9	1279,4	1294,3	1310,1	1305,3	1297,6	1293,2	1275,1	1265,1

Die NO-Emissionen haben sich wegen der direkten Proportionalität zu den N_2O-Emissionen (siehe Kapitel 5.3.4.2.2) in gleicher Weise wie die N_2O-Emissionen verändert, siehe Tabelle 303.

Tabelle 303: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten Gesamt-NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022	1,129	1,013	0,989	0,981	0,970	0,952	0,938	0,937	0,942	0,937	0,931	0,924	0,908	0,899
2021	1,122	1,012	0,993	1,000	0,997	0,979	0,965	0,962	0,966	0,955	0,949	0,941	0,925	0,914

5.3.4.6 Geplante Verbesserungen (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.3.5 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger-Managements (3.B)

5.3.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.5.2 Methodische Aspekte (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

5.3.5.2.1 Methodik (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Indirekte N_2O-Emissionen aufgrund von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdünger-Management werden für Deutschland nicht berichtet, siehe Kapitel 5.3.1.

Die indirekten N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus Wirtschaftsdünger-Management (incl. Lagerung der Wirtschaftsdünger-Gärreste; ohne Ausbringung) werden nach IPCC (2006b Vol 4, 11.21) proportional zur deponierten N-Menge berechnet:

Gleichung 16: indirekte N_2O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger- Managements

$$E_{\mathrm{N2Oindirect,MM}} = \frac{44}{28} \cdot (E_{\mathrm{NH3\text{-}N,\,MM}} + E_{\mathrm{NO\text{-}N,\,MM}}) \cdot EF_4$$

mit:

$E_{\mathrm{N2O,\,indirect,\text{-}MM}}$	indirekte N_2O-Emissionen aus der Deposition von NH_3-N und NO-N aus dem Wirtschaftsdünger -Management (kg a^{-1})
$E_{\mathrm{NH3\text{-}N,\,MM}}$	gesamte NH_3-N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger -Management (kg a^{-1})
$E_{\mathrm{NO\text{-}N,\,MM}}$	gesamte NO-N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (kg a^{-1})
EF_4	N_2O-N-Emissionsfaktor, siehe Kapitel 5.3.5.2.2

Eine allgemeine Methodenbeschreibung zur Berechnung der NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager findet sich in Kap. 3.3.4.3 in Vos et al. (2022). Für Details wird auf die entsprechenden tierspezifischen Kapitel in Vos et al. (2022) verwiesen, siehe Tabelle 304.

Tabelle 304: Tierspezifische Details zu NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager in Vos et al. (2022)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.7	erwachsene Schafe	6.3.5
Kälber	4.4.6	Lämmer	6.4.5
Milch- und Schlachtfärsen	4.5.7	Ziegen	6.6.5
Männliche Mastrinder	4.6.7	Großpferde	7.3.5
Mutterkühe	4.7.7	Kleinpferde/Ponys	7.4.5
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.6	Legehennen	8.3.8
Sauen	5.3.7	Masthähnchen	8.4.7
Aufzuchtferkel	5.4.7	Junghennen	8.5.8
Mastschweine	5.5.7	Gänse	8.6.6
Eber	5.6.7	Enten	8.7.8
		Puten	8.8.6

5.3.5.2.2 Emissionsfaktor (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Der Emissionsfaktor EF_4 für indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management (ohne Ausbringung) beträgt 0,01 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ (IPCC, 2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3).

5.3.5.2.3 Emissionen (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Tabelle 305 zeigt die indirekten N_2O-Emissionen aufgrund der Deposition von reaktivem Stickstoff durch NH_3- und NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für die vorliegende Submission und im Vorgriff auf Kapitel 5.3.5.5 auch für die letztjährige Submission. Die Emissionen der gesamten Zeitreihe wurden mit der gegenüber der letztjährigen Submission unveränderten Methodik berechnet.

Der Trend der depositionsbedingten indirekten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management folgt im Wesentlichen dem zeitlichen Verlauf der direkten N_2O-Emissionen, siehe Kapitel 5.3.4.2.3. Die Unterschiede zwischen Submission 2022 und 2021 gehen zum ganz überwiegenden Teil auf die gleichen Ursachen zurück, wie die Unterschiede bei den direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management, siehe Kapitel 5.3.4.5.

Tabelle 305: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2022 und 2021)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2022	3,992	3,341	3,325	3,326	3,257	3,272	3,336	3,366	3,399	3,388	3,367	3,365	3,297	3,260	3,231
2021	3,933	3,321	3,332	3,337	3,280	3,283	3,336	3,351	3,372	3,325	3,291	3,279	3,206	3,155	

5.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktor an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Es wurde die Emissionsfaktor-Unsicherheit (95 % - Konfidenzintervall) aus der Berechnung der depositionsbedingten indirekten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (siehe Kap. 3.3.4.3.6 in Vos et al. (2022)) übernommen. Zur Schätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten (verfügbare Menge an reaktivem Stickstoff) siehe Kap. 3.3.4.3.6 in Vos et al. (2022).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.5.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

5.3.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Zu den quellenspezifischen Rückrechnungen siehe Kapitel 5.3.5.2.3.

5.3.5.6 Geplante Verbesserungen (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.4 Reisanbau (3.C)

In Deutschland wird kein Reis angebaut (not occuring, NO).

5.5 Landwirtschaftliche Böden (3.D)

5.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	3 D, Agricultural Soils		N_2O	22.768,5	1,8%	18.673,2	2,6%	-18,0%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
N_2O	Tier 1/Tier 2	M/AS/RS/NS	D, CS
NO_X	Tier 1	RS/NS	D
NMVOC	Tier 1	RS/NS	D

Die Quellgruppe *Landwirtschaftliche Böden* ist hinsichtlich *der N_2O-Emissionen* eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Mikrobielle Umsetzungen (Nitrifikation und Denitrifikation) von N-Verbindungen führen zu N_2O-Emissionen aus Böden. Es wird zwischen direkten und indirekten N_2O-Emissionen unterschieden. Die berichteten direkten Emissionen des Sektors 3.D umfassen die N_2O-Emissionen infolge von:

- Mineraldüngerausbringung
- Wirtschaftsdüngerausbringung (incl. Ausbringung von Wirtschaftsdünger-Gärresten)
- Ausbringung von Gärresten aus Energiepflanzenvergärung
- Klärschlammausbringung
- Weidegang
- Ernterückständen
- Mineralisierung
- Bewirtschaftung organischer Böden

Emissionen infolge der Ausbringung von Kompost oder Gärresten aus der Vergärung von Bioabfällen außer Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen werden durch den Sektor „Bioabfallbehandlung“ (5.B) berechnet und berichtet, siehe Kapitel 7.3.1.2 und 7.3.2.2.

Die indirekten N_2O-Emissionen des Sektors 3.D ergeben sich als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs sowie von Auswaschung und Oberflächenfluss.

Tabelle 306 zeigt die zeitlichen Veränderungen der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie für Anfangs- und Endjahr der Zeitreihe die Anteile der Emissionen an den jeweiligen Gesamtemissionen aus der deutschen Landwirtschaft.

Tabelle 306: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von N_2O und THG

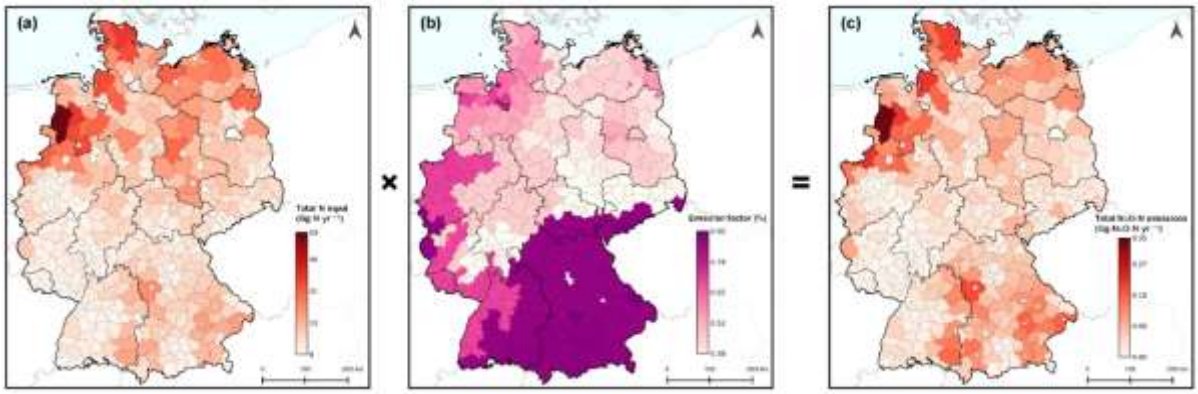
[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (N_2O, THG, NMVOC)	
		1990	2020
N_2O_{soils}, direkt	-16,6	63,7	64,3
N_2O_{soils}, indirekt	-21,9	22,4	21,2
Summe von N_2O_{soils}	-18,0	86,2	85,5
dito, als THG (in CO_{2eq})	-18,0	32,3	33,3
$NMVOC_{soils}$	19,0	1,9	3,1

5.5.2 Methodische Aspekte und Emissionen(3.D)

5.5.2.1 Methodik und Emissionsfaktoren (3.D)

5.5.2.1.1 Direkte N_2O-Emissionen (3.D.a)

Direkte N_2O-Emissionen als Folge der Ausbringung von N-haltigen Substraten sowie aus Ernterückständen werden mit einem Tier-2-Verfahren auf NUTS-3 Ebene mittels der Emissionsfaktoren von Mathivanan et al. (2021) berechnet (siehe Kapitel 5.1.5.1.1). Die verwendeten Tier-2-Emissionsfaktoren wurden in einer Metaanalyse abgeleitet. Als Datengrundlage dienten 71 in Deutschland durchgeführte Studien, die 676 Feldmesswerte von N_2O-Emissionen an 43 Standorten in Deutschland über mindestens 150 Tage beinhalteten. Die Emissionsfaktoren wurden mit Hilfe von Bayesschen generalisierten linearen gemischten Modellen abgeleitet.



Darstellung: Figure 3 aus Mathivanan et al. (2021). a) N-Einträge durch Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Gärreste, Klärschlamm und Ernterückstände in Gg N yr^{-1}. b) kreisweise N_2O-Emissionsfaktoren in %. c) kreisweise jährliche direkte N_2O-Emissionen aus der Ausbringung von N-haltigen Substraten und aus Ernterückständen

Abbildung 48: Darstellung der kreisweisen Berechnung von direkten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden.

Es wurden getrennte Emissionsfaktoren für organische und mineralische Böden ermittelt. Als Kriterium zur Einordnung als organischer Boden wurde die im deutschen LULUCF-Inventar verwendete Grenze von mindestens 90 g kg^{-1} SOC gewählt. Emissionsfaktoren für Mineralböden wurden für vier Regionen in Deutschland ermittelt, die aus den ökologischen Zonen nach Metzger et al. (2005) abgeleitet wurden. Für organische Böden konnte nur ein gesamtdeutscher Emissionsfaktor ermittelt werden. Die im IPCC-2019-Refinement (IPCC, 2019a Table 11.1) vorgesehene Auftrennung in synthetische Dünger und andere Stickstoffeinträge ist nach Mathivanan et al. (2021) in Deutschland nicht signifikant. Die abgeleiteten Tier-2-Emissionsfaktoren sind daher unabhängig von der Art des N-Inputs.

Zur Berechnung im Inventar wurden Emissionsfaktoren für alle deutschen NUTS-3-Regionen (Kreise) berechnet (siehe Abbildung 48), indem Emissionsfaktoren für mineralische und organische Böden nach den Anteilen an der landwirtschaftlichen Fläche in der jeweiligen NUTS-3-Region gewichtet gemittelt wurden. Hierzu wurden die Flächendaten des LULUCF-Inventars verwendet.

Die Emissionsfaktoren für N-Einträge auf Mineralböden sind in Tabelle 307 aufgelistet. (Mathivanan et al., 2021; Metzger et al., 2005).

Tabelle 307: N_2O-N Emissionsfaktoren für N-Einträge auf Böden, nach (Mathivanan et al., 2021)

Boden	Region	Emissionsfaktor	Konfidenzintervall
Mineralböden	Nordwestdeutschland	0,0049	0,0026 – 0,0078
	Nordostdeutschland	0,0039	0,0017 – 0,0066
	Südwestdeutschland	0,0072	0,0037 – 0,0108
	Südostdeutschland	0,0088	0,0038 – 0,0143
Organische Böden	Deutschland	0,0101	0,0039 – 0,0165

Die zusammengefassten Emissionsfaktoren der NUTS-3 Regionen (gewichtet gemittelt für mineralische und organische Böden) liegen zwischen 0.0038 und 0.0092 kg N_2O-N je kg ausgebrachtem Stickstoff. Die Emissionsfaktoren in NUTS-3 Regionen in Süddeutschland sind generell höher als die in Norddeutschland, was den unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten und den Bodeneigenschaften zugeschrieben wird (Dechow & Freibauer, 2011). Bei der Menge der N-Einträge verhält es sich in etwa umgekehrt, weil im nördlichen Teil Deutschlands der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche an den NUTS-3-Regionen im Allgemeinen höher ist und intensivere Landwirtschaft betrieben wird. Die resultierenden N_2O-Emissionen sind deutschlandweit sehr unterschiedlich und generell dort am höchsten, wo ein hoher Anteil an organischen Böden mit einer großen Menge ausgebrachtem Stickstoff kombiniert ist. Die niedrigsten N_2O-Emissionen ergeben sich für urbane Regionen im Westen Deutschlands, wo nur geringe N-Einträge auftreten.

Die Berechnung der Emissionen aus N-Ausscheidungen beim Weidegang erfolgt nach IPCC (2006b Vol 4, 11.7) proportional zur N-Menge, die auf der Weide ausgeschieden wurde (siehe Kapitel 5.1.5.1). Der Emissionsfaktor ist für Rinder EF = 0,02 kg N_2O-N je kg ausgeschiedenen Stickstoff. Für Schafe, Ziegen und Pferde beträgt der N_2O-N-Emissionsfaktor 0,01 kg kg^{-1}. Für Schweine ist Freilandhaltung in Deutschland vernachlässigbar (IE, siehe Kapitel 5.1.3.6.4).

Direkte N_2O-Emissionen aus Mineralisierung von organischer Bodensubstanz in mineralischen landwirtschaftlichen Böden werden mit einem Tier-1-Verfahren nach IPCC (2006b Vol 4, 11.7) proportional zu den freigesetzten N-Mengen (siehe Kapitel 5.1.5.1) berechnet. Der Emissionsfaktor wird nach IPCC (2006b) mit 0,01 kg N_2O-N je kg freigesetzten Stickstoff angesetzt.

Direkte N_2O-Emissionen aus Mineralisierung von organischer Bodensubstanz auf bewirtschafteten organischen Böden werden durch Multiplikation der Fläche mit einem Emissionsfaktor berechnet, getrennt nach Ackerland und Grünland. Zu den Flächen siehe Kapitel 5.1.5.1.3. In einer deutschlandweiten Studie (Tiemeyer et al., 2020a) wurden aktuelle N_2O-N-Emissionsfaktoren für Deutschland abgeleitet: 11,1 kg ha^{-1} a^{-1} für Ackerland und 4,6 kg ha^{-1} a^{-1} für Grünland. Die den bisherigen Emissionsfaktoren zugrunde liegenden Daten wurden von Tiemeyer et al. (2020a) neu ausgewertet und durch neuere Daten ergänzt: Insgesamt basieren die aktualisierten Emissionsfaktoren für Ackerland und Grünland auf 206 ganzjährigen Messungen für 25 verschiedene Moorgebiete in Deutschland. Im LULUCF-Sektor wurden mit Hilfe der aktualisierten Emissionsfaktoren die N_2O-Gesamtemissionen für Ackerland und

Grünland auf organischen Böden berechnet, wobei berücksichtigt wurde, dass Teilflächen mit einem Grundwasser-Flurabstand < 10 cm kein N_2O emittieren. Aus der Division dieser Emissionen durch die Gesamtflächen aus Kapitel 5.1.5.1.3 ergeben sich die effektiven Emissionsfaktoren (IEF): rund 11,0 kg ha^{-1} a^{-1} für Ackerland und rund 4,5 kg ha^{-1} a^{-1} für Grünland. Tabelle 308 zeigt den daraus abgeleiteten flächengewichteten Mittelwert, der wegen des nicht konstanten Verhältnisses von Acker- zu Grünlandflächen zeitlich variabel ist.

Tabelle 308: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Böden

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ausbringung Mineraldünger [kg kg^{-1}]	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
Ausbringung Wirtschaftsdünger [kg kg^{-1}]	0,0066	0,0067	0,0067	0,0067	0,0067	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066
Ausbringung Gärreste [kg kg^{-1}]	0,0067	0,0067	0,0067	0,0066	0,0066	0,0066	0,0065	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064
Ausbringung Klärschlamm [kg kg^{-1}]	0,0063	0,0063	0,0062	0,0059	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0057	0,0058	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057
Ernterückstände [kg kg^{-1}]	0,0060	0,0059	0,0060	0,0060	0,0059	0,0061	0,0060	0,0059	0,0060	0,0059	0,0060	0,0060	0,0061	0,0061	0,0060
Weidegang [kg kg^{-1}]	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Mineralisierung [kg kg^{-1}]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
bewirtschaftete organische Böden [kg ha^{-1}]	6,16	6,12	6,09	6,14	6,16	6,18	6,20	6,22	6,23	6,25	6,24	6,22	6,20	6,19	6,17

5.5.2.1.2 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden(3.D)

Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs werden nach IPCC (2006b Vol 4, 11.21) proportional zur deponierten N-Menge berechnet. Die Methodik entspricht sinngemäß der in Kapitel 5.3.5.2.1 beschriebenen Vorgehensweise; zum Emissionsfaktor siehe Kapitel 5.3.5.2.2 (0,01 kg N2O-N (kg N)$^{-1}$). Die für die Berechnungen im Sektor 3.D relevante deponierte N-Gesamtmenge umfasst die N-Mengen der NH_3- und NO-Emissionen (siehe Kapitel 5.1.5.1.4):

- Mineraldüngeranwendung,
- Ausbringung von Wirtschaftsdünger (inkl. Wirtschaftsdünger-Gärreste),
- Ausbringung von Gärresten der Energiepflanzen-Vergärung,
- Ausbringung von Klärschlämmen,
- Weidegang.

Eine Beschreibung der Berechnung der indirekten N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3-N und NO-N findet sich in Kap. 12.1 in Rösemann et al. (2021). Das deutsche Inventar verwendet nicht die IPCC-Defaultwerte für $Frac_{GASM}$ und $Frac_{GASF}$, sondern berechnet die NH_3– und NO-Emissionen, die zur Deposition von reaktivem Stickstoff führen, durch Multiplikation der ausgebrachten N-Menge bzw. der N-Ausscheidung auf der Weide mit den entsprechenden Emissionsfaktoren:

Für die Ausbringung der verschiedenen Mineraldüngerarten siehe Kapitel 11.1.2 in Vos et al. (2022). Die Berechnung der NH_3– und NO-Emissionen aus der Ausbringung von Wirtschaftsdünger (einschließlich der Gärreste aus Wirtschaftsdünger) und Weidegang wurde in

den Kapiteln in Vos et al. (2022)) beschrieben, die in Tabelle Tabelle 304 in Kapitel 5.3.5.2.1 aufgeführt sind. Für die Ausbringung von Gärresten der Energiepflanzen-Vergärung und Klärschlämmen wird auf Kap. 10.2 bzw. 11.4.2 in Vos et al. (2022) verwiesen. Zur Ausbringung von Harnstoffdüngern gibt es ab dem Zeitreihenjahr 2020 neue rechtliche Vorgaben: „Harnstoff als Düngemittel darf ab dem 1. Februar 2020 nur noch aufgebracht werden, soweit ihm ein Ureasehemmstoff zugegeben ist oder er unverzüglich, jedoch spätestens innerhalb von vier Stunden nach der Aufbringung eingearbeitet wird." (DüV, 2017 §6, Absatz 2). Ab dem Zeitreihenjahr 2020 wird daher ein um 70% verminderter Emissionsfaktor für NH_3 aus Harnstoff angewendet (Bittman et al., 2014, Chapter 8, Table 15). Die indirekten N_2O Emissionen sinken daher ab diesem Jahr deutlich.

5.5.2.1.3 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)

Die indirekten N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss werden nach dem Tier-1-Verfahren nach IPCC (2006b Vol 4, 11.21), als Produkt aus N_2O-N-Umrechnungsfaktor 44/28, ausgewaschener N-Menge und Emissionsfaktor (0,0075 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$, siehe IPCC (2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3) berechnet. Die ausgewaschene N-Menge beträgt 30 % von ausgebrachter N-Menge und N-Menge aus Ernterückständen und Mineralisierung, siehe Kapitel 5.1.5.1.5).

Eine ausführliche Beschreibung der Berechnung der indirekten N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss findet sich in Kap. 12.2 in Vos et al. (2022).

5.5.2.1.4 NO-Emissionen

Die Berechnung der NO-Emissionen erfolgt methodisch analog zur Berechnung der N_2O-Emissionen (siehe Kapitel 5.5.2.1.2). EMEP/EEA (2019-3D, Table 3.1) gibt für die Ausbringung von Mineraldünger und Wirtschaftsdünger sowie für tierische Ausscheidungen auf der Weide einen einheitlichen NO-Emissionsfaktor von 0,04 kg NO_2 pro kg ausgebrachten Stickstoff an (siehe dazu auch EMEP/EEA (2019-3D-13). Dieser Emissionsfaktor ist ein auf zwei Dezimalstellen gerundeter Wert; er geht auf den Emissionsfaktor von Stehfest and Bouwman (2006) zurück, der in NO-N-Einheiten 0,012 kg kg^{-1} beträgt. Das Inventar verwendet den Original-Emissionsfaktor von Stehfest and Bouwman (2006) und setzt ihn im Sinne von EMEP/EEA (2019-3D, Table 3.1, p.13, Supplement A2.3) auch für N-Ausscheidungen bei Weidegang und die Ausbringung von Klärschlämmen ein.

5.5.2.1.5 NMVOC-Emissionen

IPCC (2006b) gibt keine Methode zur Berechnung der NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen an. Deutschland berechnet die NMVOC-Emissionen mit einer Tier-2-Methodik nach EMEP/EEA (2019)-3D-30 f, getrennt nach Kulturen:

Gleichung 17: Berechnung der jährlichen NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen nach EMEP/EEA (2019)

$$E_{\mathrm{NMVOC,\,cult,i}} = A_{\mathrm{i}} \cdot m_{\mathrm{FM,i}} \cdot x_{\mathrm{DM,i}} \cdot t_{\mathrm{i}} \cdot EF_{\mathrm{NMVOC,\,cult,i}}$$

mit

$E_{NMVOC,\ cult,\ i}$	NMVOC-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Kultur i (in kg a^{-1})
A_i	Anbaufläche der Kultur i (in ha)
$m_{FM,\ i}$	mittlerer Frischmasseertrag von Kultur i (in kg ha^{-1} a^{-1})
$x_{DM,\ i}$	Trockenmassegehalt von Kultur i (in kg kg^{-1})
t_i	Anteil des Jahres, während dessen Kultur i NMVOCs emittiert (in a a^{-1})
$EF_{NMVOC,\ cult,\ i}$	NMVOC-Emissionsfaktor für Kultur i (in kg kg^{-1})

Zu Anbauflächen, Frischmasseerträgen, Trockenmassegehalten und relativen Emissionsdauern siehe Kapitel 5.1.5.3. Die Emissionsfaktoren wurden für Weizen, Roggen, Raps und Gras aus EMEP/EEA (2019 3D Table 3.3) entnommen, siehe Tabelle 309. Für die Kulturkategorien „Kleegras, Luzerne, Futtergras“ sowie „Wiesen und Mähweiden“ wurde der EMEP-Emissionsfaktor von Gras übernommen. Für die übrigen Kulturen wurde der EMEP-Emissionsfaktor von Weizen übernommen.

Tabelle 309: NMVOC-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Kulturen

Kultur	Emissionsfaktor [kg kg^{-1} h^{-1}]
Weizen	$2{,}60 \cdot 10^{-8}$
Roggen	$1{,}41 \cdot 10^{-7}$
Raps	$2{,}02 \cdot 10^{-7}$
Gras (15 °C)	$1{,}03 \cdot 10^{-8}$

5.5.2.2 Die *Frac*-Größen (3.D)

Deutschland berichtet über $Frac_{GASF}$, $Frac_{GASM}$ und $Frac_{leach}$.

$Frac_{LEACH}$ ist im deutschen Inventar eine Eingabegröße. Sie gibt den relativen Anteil des N-Eintrags in Böden an, der durch Auswaschung und Oberflächenabfluss verloren geht. Das deutsche Inventar verwendet den IPCC-Defaultwert $Frac_{LEACH}$ = 0,30 kg kg^{-1} (IPCC, 2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3), siehe Kapitel 5.1.5.1.5.

Die Größen $Frac_{GASF}$ und $Frac_{GASM}$ werden dagegen im Inventar nicht verwendet, sondern für die Berichterstattung nachträglich aus Ein- und Ausgabedaten der abgeschlossenen Emissionsberechnung ermittelt.

$Frac_{GASF}$ ist nach IPCC (2006b Vol 4, 11.21, eq.11.9), der Anteil der mit Mineraldüngern ausgebrachten N-Menge, der als NH_3-N und NO-N emittiert wird, siehe Tabelle 310. Dabei dominiert der Einfluss von NH_3. Wegen der unterschiedlichen NH_3-Emissionsfaktoren der verschiedenen Mineraldüngerarten hängt der $Frac_{GASF}$-Wert vom Mineraldüngermix des jeweiligen Jahres ab. Dabei ergibt sich wegen des vergleichsweise hohen Emissionsfaktors von Harnstoff (EMEP/EEA, 2019) bis zum Jahr 2019 eine sehr gute Korrelation von $Frac_{GASF}$ mit dem relativen Verhältnis von Harnstoff-N zu Gesamtmineraldünger-N (Vos et al., 2022). Im Jahr 2020 ist der $Frac_{GASF}$-Wert deutlich niedriger als in den Vorjahren, da mit einem um 70 % verminderten NH_3-Emissionsfaktor für Harnstoff gerechnet wird (siehe Kapitel 5.5.2.1.2).

Tabelle 310: $Frac_{GASF}$-Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D)

[kg kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Mittel-wert
FracGASF	0,042	0,045	0,049	0,052	0,057	0,054	0,055	0,055	0,057	0,058	0,059	0,057	0,054	0,051	0,034	0,050

$Frac_{GASM}$ ist nach IPCC (2006b Vol 4, 11.21, eq.11.9) der Anteil der mit Wirtschaftsdünger (incl. Wirtschaftsdünger-Gärresten), Energiepflanzen-Gärresten, Klärschlämmen und beim Weidegang ausgebrachten N-Menge, der als NH_3-N und NO-N emittiert wird, siehe Tabelle 311. (Die $Frac_{GASM}$-Definition in CRF-Tabelle 3.D entspricht nicht dieser Definition.)

Tabelle 311: $Frac_{GASM}$-Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D)

[kg kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Mittel-wert
$Frac_{GASM}$	0,194	0,182	0,177	0,169	0,167	0,169	0,164	0,162	0,159	0,157	0,155	0,153	0,151	0,149	0,147	0,170

5.5.2.3 Emissionen (3.D)

Tabelle 312 zeigt eine Übersicht über die Beiträge der einzelnen Teilquellen zu den N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Die indirekten Emissionen umfassen auch die Beiträge als Folge der Ausbringung von Energiepflanzen-Gärresten.

Tabelle 312: Übersicht über die N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gesamtemissionen	**76,4**	**66,2**	**68,8**	**66,8**	**66,2**	**67,1**	**68,5**	**68,8**	**71,2**	**70,5**	**70,0**	**68,5**	**64,7**	**63,7**	**62,7**
Summe direkte Emissionen	**56,5**	**49,5**	**51,3**	**49,9**	**49,2**	**49,8**	**50,8**	**50,9**	**52,6**	**52,1**	**51,7**	**50,8**	**48,2**	**47,6**	**47,1**
Summe indir. Emissionen	**19,9**	**16,6**	**17,5**	**16,9**	**17,0**	**17,3**	**17,7**	**17,9**	**18,6**	**18,4**	**18,3**	**17,7**	**16,5**	**16,1**	**15,5**
Mineraldünger	20,9	16,4	18,3	17,1	15,6	15,9	16,1	15,8	16,4	16,6	16,5	15,5	14,3	13,4	13,0
Wirtschaftsdünger	11,5	10,2	10,0	9,7	9,7	9,7	9,9	10,0	10,1	10,1	10,0	10,0	9,8	9,7	9,7
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,0	0,1	0,5	1,7	2,2	2,4	2,8	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Klärschlamm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Weidegang	6,4	5,1	4,6	4,1	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,6	3,6	3,5
Ernterückstände	4,6	4,7	5,3	5,5	5,4	5,3	5,7	5,6	6,5	5,6	5,5	5,9	4,8	5,3	5,4
Mineralisierung	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Organische Böden	12,7	12,7	12,6	12,7	12,6	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6	12,6	12,5	12,4
Indirekt, Deposition, ohne EC [a]	5,6	4,6	4,6	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,1	3,8	3,6	3,2
Indirekt, Deposition, EC [a]	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
Indirekt, Auswaschung, ohne EC [a]	14,3	12,0	12,8	12,3	11,7	11,7	12,0	11,9	12,5	12,2	12,1	11,8	10,9	10,7	10,6
Indirekt, Auswaschung, EC [a]	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0

[a] EC: Energiepflanzen-Gärreste

Die Gesamt-N_2O-Emissionen haben in der ersten Hälfte der 1990er Jahre abgenommen. In den anschließenden Jahren bis 2013 ist kein klarer Trend festzustellen. Von 2013 zu 2014 zeigt sich ein merklicher Anstieg. In den Jahren danach nimmt die Emission aber wieder deutlich ab; im Jahr 2020 ist sie um 12,0 % niedriger als 2014.

Trotz der jahresübergreifenden Mittelung der Mineraldüngermengen (siehe Kapitel 5.1.5.1.2) ist die Mineraldüngerausbringung weiterhin für einen Großteil der jährlichen Schwankungen der Gesamtemission verantwortlich. Zum markanten Anstieg der N_2O-Gesamtemissionen von 2013 zu 2014 trägt zusätzlich auch ein Anstieg der N_2O-Emissionen aus Ernterückständen bei, der auf die außergewöhnlich hohen Ernteerträge 2014 zurückgeht (siehe Tabelle 254 in Kapitel 5.1.5.1.2). Die in den Folgejahren zu beobachtende Abnahme der Gesamtemissionen ist vorrangig auf die Abnahme der Mineraldüngerausbringung zurück zu führen. Von 2017 zu 2018 wirkt sich überdies die geringere Ernte 2018 aus, die zu geringeren Ernterückständen als 2017 führte (siehe Kapitel 5.1.5.1.2). Abnahmen von Tierzahlen in den letzten Jahren wurden in ihrer emissionssenkenden Wirkung teilweise durch emissionserhöhende Effekte von Leistungssteigerungen kompensiert. Seit 2005 wirkt sich auch die Ausbringung zunehmender Mengen von Wirtschaftsdünger-Gärresten und Energiepflanzen-Gärresten aus.

Tabelle 313 zeigt für erstes und letztes Zeitreihenjahr die prozentualen Beiträge der verschiedenen Teilquellen zu den Gesamt-N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

Tabelle 313: N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Prozentuale Beiträge der Teilquellen

[%]	1990	2020
Mineraldünger	27,4,	20,7,
Wirtschaftsdünger (incl. Wirtschaftsdünger-Gärreste)	15,1,	15,4,
Energiepflanzen-Gärreste	0,0,	4,7,
Klärschlamm	0,4,	0,2,
Weidegang	8,4,	5,6,
Ernterückstände	6,0,	8,7,
Mineralisierung	0,05,	0,04,
Organische Böden	16,6,	19,84,
Summe indirektes N_2O	26,0,	24,8,

Die Ergebnisse der NO-Emissionsberechnungen sind in Tabelle 314 dargestellt. Zu den Quellen siehe Kapitel 5.5.2.1.2. Tabelle 314 weist die Emissionen infolge der Ausbringung von Energiepflanzen-Gärresten gesondert aus, um ihre relative Bedeutung hervorzuheben. Der zeitliche Verlauf der Gesamtemissionen folgt weitgehend dem Verlauf der N_2O-Emissionen. (Für die Berichterstattung in CRF 3s2 werden die NO-Werte durch Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 46/30 in NO_2 umgerechnet.)

Tabelle 314: NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**91,4**	**74,7**	**78,9**	**75,4**	**74,3**	**76,2**	**77,8**	**78,3**	**80,5**	**81,2**	**80,8**	**77,6**	**73,9**	**71,2**	**69,9**
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,0	0,1	1,2	4,3	5,4	5,9	7,2	7,5	7,8	7,8	7,6	7,5	7,5	7,5
übrige Quellen	91,4	74,7	78,8	74,2	70,0	70,8	71,8	71,1	73,0	73,4	73,1	70,0	66,4	63,7	62,4

Tabelle 315 zeigt den zeitlichen Verlauf der NMVOC-Emissionen. Die jährlichen Veränderungen und damit auch der bis 2014 ansteigende Trend sind im Wesentlichen eine Folge variierender Ernteerträge. 2014 wurden die bislang höchsten Ernteerträge beobachtet.

Tabelle 315: NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
[kt a^{-1}]	7,69	8,19	8,79	9,17	9,53	9,03	10,05	10,36	11,40	9,91	9,69	9,74	7,82	8,56	9,16
in % von 1990	100,0	106,5	114,2	119,2	123,9	117,3	130,7	134,7	148,2	128,9	126,0	126,7	101,7	111,3	119,0

5.5.3 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.D)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Zum Zweck der Verifizierung stellen Tabelle 316 und Tabelle 317 analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 die N_2O-N-Emissionsfaktoren und Frac-Größen $Frac_{GASF}$, $Frac_{GASM}$ und $Frac_{LEACH}$ des deutschen Inventars den entsprechenden Daten solcher Staaten gegenüber, die benachbart sind oder deren landwirtschaftliche Praxis mit der deutschen vergleichbar ist. Das Vergleichsjahr ist aus den in Kapitel 5.2.4 genannten Gründen das Zeitreihenjahr 2019.

Tabelle 316: Vergleich der deutschen N_2O-N-Emissionsfaktoren mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2019

N_2O-N	Mineral-dünger	Wirtschafts-dünger	Ernterück-stände	Minerali-sierung	organische Böden	Weidegang	Deposition	Auswa-schung
	[kg kg^{-1}]	[kg kg^{-1}]	[kg kg^{-1}]	[kg kg^{-1}]	[kg ha^{-1}]	[kg kg^{-1}]	[kg kg^{-1}]	[kg kg^{-1}]
Österreich	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,2000	0,0167	0,010	0,0075
Belgien	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0195	0,010	0,0075
Tschechische Republik	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	NO	0,0190	0,010	0,0023
Dänemark	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	7,4724	0,0177	0,010	0,0048
Frankreich	0,0100	0,0100	0,0100	NO	8,0183	0,0191	0,010	0,0075
Deutschland	**0,0061**	**0,0066**	**0,0053**	0,0100	**6,1864**	**0,0189**	**0,010**	**0,0075**
Niederlande	0,0106	0,0082	0,0139	NO	4,4459	0,0314	0,012	0,0075
Polen	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0194	0,010	0,0075
Schweiz	0,0096	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0189	0,026	0,0075
Vereinigtes Königreich	0,0072	0,0052	0,0100	0,0100	9,5235	0,0037	0,010	0,0075
IPCC (2006b Vol 4, 11.11, 11.24), IPCC (2014) [a]	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,00 (13 / 4,3 / 8,2 / 1,6) [a]	0,02 (Rinder, Schweine, Geflügel); 0,01 (andere Tiere)	0,0100	0,0075

Quelle: Deutschland: Submission2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

[a] IPCC (2014) Wetlands Supplement, Tabelle 2.5 (Ackerland, drainiert / Grünland, drainiert, nährstoffarm / Grünland, tief-drainiert, nährstoffreich / Grünland, flach-drainiert, nährstoffreich)

Für die Ausbringung von Mineraldünger und Wirtschaftsdünger, Gärresten, Klärschlamm sowie für Ernterückstände verwendet Deutschland seit der vorliegenden Submission 2022 von (Mathivanan et al., 2021) abgeleitete regionalisierte Emissionsfaktoren, die deutlich unterhalb des IPCC (2006) Default Emissionsfaktors von 0.01 kg kg^{-1} liegen. Für Ausbringung von Mineraldüngern liegt der mittlere deutsche Emissionsfaktor unterhalb der Werte der Schweiz, der Niederlande und des vereinigten Königreichs, die auch Tier 2 Emissionsfaktoren verwenden. Für Ausbringung von Wirtschaftsdüngern liegt der mittlere deutsche Wert niedriger als der niederländische und höher als der des vereinigten Königreichs. Für Ernterückstände verwenden außer Deutschland nur die Niederlande einen Tier 2 Emissionsfaktor. Dieser liegt deutlich höher als der deutsche Wert und der Default Emissionsfaktor.

Für N_2O-N aus organischen Böden verwenden vier Länder den IPCC (2006b) Default-Emissionsfaktor von 8 kg ha^{-1}. Zwei Länder liegen über diesem Defaultwert, ein Land etwas unterhalb. Der deutsche Wert, der auf nationalen Emissionsfaktoren für Ackerland und Grünland beruht (siehe Kapitel 5.5.2.1.1) liegt deutlich unter dem IPCC (2006b)-Default-Emissionsfaktor, aber etwa in der Mitte zwischen dem Emissionsfaktor der Niederlande und dem IPCC-Defaultwert.

Die meisten Emissionsfaktoren für N_2O-N als Folge von Weidegang basieren offensichtlich auf einer Kombination der beiden Defaultwerte von IPCC (2006b), wobei der Anteil der „anderen Tiere“ mit dem niedrigeren Emissionsfaktor von Land zu Land variierend ins Gewicht fällt. Der deutsche Wert liegt nahe am Defaultwert für Rinder, Schweine und Geflügel, worin zum Ausdruck kommt, dass die Populationsanteile der übrigen Tiere vergleichsweise klein sind.

Bei den indirekten N_2O-N-Emissionen infolge Deposition reaktiven Stickstoffs sowie durch Auswaschung und Oberflächenabfluss rechnet Deutschland wie die meisten anderen Länder mit den jeweiligen IPCC (2006b) Defaultwerten.

Tabelle 317: Vergleich der deutschen Frac-Größen mit denen benachbarter Staaten, Zeitreihenjahr 2019

[kg kg^{-1}]	$Frac_{GASF}$	$Frac_{GASM}$	$Frac_{LEACH}$
Österreich	0,05	0,16	0,15
Belgien	0,07	0,17	0,30
Tschechische Republik	0,10	0,20	0,30
Dänemark	0,06	0,08	0,25
Frankreich	0,06	0,11	0,25
Deutschland	**0,05**	**0,15**	**0,30**
Niederlande	0,05	NA	0,13
Polen	0,10	0,20	0,30
Schweiz	0,07	0,23	0,18
Vereinigtes Königreich	0,04	0,04	0,20
IPCC (2006b Vol 4, 11.24)	0,10	0,20	0,30

Quelle: Deutschland: Submission 2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

Die Streuung bei $Frac_{GASF}$ wird auf die zwischen den Nachbarländern variierenden relativen Anteile verschiedener Düngerarten (mit ihren unterschiedlichen NH_3-Emissionsfaktoren) zurückgeführt. Der deutsche Wert liegt etwas unterhalb des Medians (IPCC, 2006b). Dies trifft auch auf $Frac_{GASM}$ zu. Für $Frac_{LEACH}$ verwendet Deutschland wie einige andere Länder den IPCC (2006b) Defaultwert.

5.5.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.D)

Die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzten Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren für die direkten und indirekten N_2O-Emissionen sind Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 zu entnehmen.

Bei den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für direktes N_2O aus Mineraldünger, organischen Dünger (Wirtschaftsdünger, Gärreste, Klärschlamm) und Ernterückständen handelt es sich um von (Mathivanan et al., 2021) berechnete Unsicherheiten zu den jeweiligen Emissionsfaktoren. Bei den Emissionsfaktoren zum Weidegang handelt es sich dabei um Default-Angaben aus IPCC (2006b Vol 4, 11.11, Table 11.1). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (N-Mengen) siehe Kapitel 11.1.1, 11.2.1, 11.3.1, 11.4.1, 11.5.1 und 11.7.1.6 in Vos et al. (2022).

Die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktor für die direkten N_2O-Emissionen aus drainierten organischen Böden wurden aus nationalen Daten abgeleitet, siehe Kap. 11.6.1 und 11.6.2 in Vos et al. (2022). Gleiches gilt für die Mineralisierung organischer Bodensubstanz, siehe Kap. 11.8.1 und 11.8.2 in Vos et al. (2022).

Für NO aus der Ausbringung von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Gärresten und Klärschlamm sowie aus den N-Ausscheidungen auf der Weide geht das deutsche Inventar von einem 95 %-Konfidenzintervall von -95 % bis +400 % aus, siehe Vos et al. (2022) , Kap. 11.1.2.4, 11.2.2, 11.4.2.3 und 11.5.2. Vos et al. (2022)Zu den Unsicherheiten der Aktivitätsdaten (N-Mengen) siehe oben bei den N_2O-Emissionen.

Zu den Unsicherheiten im Zusammenhang mit den indirekten N_2O-Emissionen siehe Kapitel 12.1 und 12.2 in Vos et al. (2022) .

EMEP/EEA (2019) macht für die Tier-2-NMVOC-Emissionsfaktoren keine Angaben zur Unsicherheit. Geht man für den Tier-1-Emissionsfaktor von der in EMEP/EEA (2019-3D, Table 3.1) angegebenen oberen Wertebereichsgrenze aus und passt eine Lognormal-Verteilung an, so ergibt sich ein 95 %-Konfidenzintervall von -89 % bis +300 % (Vos et al., 2022, Kap. 11.12.2) . Angaben zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten sind nicht verfügbar.

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.D)

Tabelle 318 vergleicht die N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden zwischen der vorliegenden Submission und der letztjährigen Submission.

Tabelle 318: Gesamt-N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Submission 2021 und 2020 (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022	76,4	66,2	68,8	66,8	66,2	67,1	68,5	68,8	71,2	70,5	70,0	68,5	64,7	63,7
2021	98,9	85,1	89,4	86,9	86,1	87,4	89,6	90,1	93,6	92,6	91,9	89,9	84,5	83,8

Aus Tabelle 319 gehen die Änderungen der N_2O-Emissionen gegenüber der letztjährigen Submission hervor.

Tabelle 319: Veränderung von Submission 2021 zu Submission 2022 für die gesamten N_2O-Emissionen (direkt und indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2021 zu Submission 2022)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	**-22,465**	**-18,948**	**-20,565**	**-20,157**	**-19,907**	**-20,263**	**-21,068**	**-21,319**	**-22,428**	**-22,118**	**-21,961**	**-21,442**	**-19,848**	**-20,033**
Mineraldünger	-13,55994883	-10,64159288	-11,868518	-11,097	-10,100485	-10,285337	-10,449589	-10,220665	-10,59613184	-10,72333711	-10,68946676	-10,018026	-9,259727183	-8,918
Wirtschaftsdünger	-5,772	-4,897	-4,874	-4,796	-4,936	-5,026	-5,156	-5,264	-5,355	-5,321	-5,295	-5,295	-5,240	-5,223
EC-Gärreste-Ausbringung [a]	0,000	-0,003	-0,028	-0,248	-0,902	-1,129	-1,262	-1,569	-1,654	-1,724	-1,718	-1,672	-1,638	-1,633
Klärschlamm	-0,159518911	-0,20518241	-0,197904362	-0,1767376	-0,1724038	-0,165965	-0,1663027	-0,1428824	-0,140958938	-0,125181195	-0,124755175	-0,09583806	-0,092146404	-0,076
Weidegang	-0,033	-0,055	-0,066	-0,062	-0,053	-0,075	-0,100	-0,127	-0,155	-0,192	-0,216	-0,243	-0,268	-0,298
Ernterückstände	-3,017	-3,172	-3,528	-3,748	-3,673	-3,500	-3,843	-3,895	-4,416	-3,928	-3,767	-3,924	-3,107	-3,524
Mineralisierung	-0,000137043	-0,000179199	-0,000190094	3,3884E-05	0,00011857	-1,608E-05	-5,273E-05	-6,624E-05	-5,03766E-05	-7,93078E-05	-0,000111568	-0,00019691	-0,000290912	-0,0004
Organische Böden	-0,004	-0,005	-0,005	-0,005	-0,007	-0,007	-0,006	-0,006	-0,006	-0,007	-0,004	0,000	0,007	0,016
indir.: Deposition, ohne EC [a]	0,024	0,007	-0,006	-0,021	-0,040	-0,042	-0,044	-0,045	-0,046	-0,040	-0,069	-0,097	-0,128	-0,188
indir.: Deposition, EC [a]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,012	-0,025	-0,036	-0,047
indir.: Ausw., ohne EC [a]	0,058	0,024	0,009	-0,004	-0,024	-0,032	-0,041	-0,050	-0,059	-0,056	-0,064	-0,072	-0,085	-0,142
indir.: Ausw., EC [a]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

[a] EC: Energiepflanzen-Gärreste

[b] Ausw.: Auswaschung und Oberflächenabfluss Energiepflanzen-Gärresten

Die Emissionen der Submission 2022 liegen in allen Jahren deutlich unterhalb den entsprechenden Werten der Submission 2021. Die auffälligste und betragsmäßig größte Veränderung gegenüber Submission 2021 zeigt sich bei Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Gärresten, Klärschlämmen und Ernterückständen, deren Werte alle deutlich gesunken sind. Dies ist eine Folge der neu eingesezten Tier 2 Emissionsfaktoren von (Mathivanan et al., 2021), die im Mittel um 38% niedriger sind als die vorher verwendeten Tier 1 Default Emissionsfaktoren. Die in Tabelle 319 darüber hinaus noch zu erkennenden Veränderungen gegenüber Submission 2021 haben sich aufgrund von Aktualisierungen der Eingangsdaten geändert.

Tabelle 320 stellt die NO-Gesamtemissionen den entsprechenden Daten aus der letztjährigen Submission gegenüber. Die Differenzen zwischen den beiden Submissionen werden in Tabelle 321 nach Teilquellen aufgeschlüsselt. Auch hier bedeutet das Zahlzeichen „0“, dass es keine Änderungen gegeben hat. Die von Null verschiedenen Differenzen spiegeln, da die NO-Emissionen generell proportional zur verfügbaren N-Menge berechnet werden, die in Kapitel 5.1.5.1.2 beschriebenen Aktualisierungen der N-Mengen wider. Die Änderung 2019 beim Mineraldünger beruhen auf der Verwendung des jahresübergreifenden gleitenden Mittelwertes.

Tabelle 320: Vergleich der gesamten NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022	91,4	74,7	78,9	75,4	74,3	76,2	77,8	78,3	80,5	81,2	80,8	77,6	73,9	71,2
2021	91,0	74,5	78,9	75,4	74,4	76,4	78,0	78,6	80,8	81,6	81,2	78,1	74,4	72,2

Tabelle 321: Veränderung von Submission 2021 zu Submission 2022 für die NO-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2021 zu Submission 2022)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
insgesamt	**0,419**	**0,177**	**0,074**	**-0,004**	**-0,128**	**-0,185**	**-0,240**	**-0,298**	**-0,361**	**-0,334**	**-0,386**	**-0,435**	**-0,520**	**-0,925**
Mineraldünger	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,406
Wirtschaftsdünger	0,447	0,222	0,128	0,047	-0,085	-0,123	-0,158	-0,194	-0,234	-0,177	-0,209	-0,238	-0,291	-0,318
EC-Gärreste-Ausbringung [a]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
Klärschlamm	0,000	-0,000	-0,000	0	0,000	0,000	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034
Weidegang	-0,027	-0,045	-0,054	-0,050	-0,043	-0,062	-0,082	-0,104	-0,127	-0,157	-0,176	-0,197	-0,217	-0,240

[a] EC: Energiepflanzen-Gärreste

Bei den NMVOC-Emissionen gibt es nur geringfügige Veränderungen gegenüber der letztjährigen Submission; sie sind auf die Aktualisierung von Aktivitätsdaten zurück zu führen und in der gewählten Zahlendarstellung nicht sichtbar.

Tabelle 322: Vergleich der NMVOC-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022	7,692	8,190	8,788	9,171	9,530	9,025	10,053	10,361	11,402	9,913	9,694	9,744	7,820	8,559
2021	7,692	8,190	8,788	9,171	9,530	9,025	10,053	10,361	11,402	9,913	9,694	9,744	7,820	8,559

5.5.6 Geplante Verbesserungen (3.D)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.6 Brandrodung (3.E)

Brandrodung wird in Deutschland nicht praktiziert (NO).

5.7 Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche (3.F)

Schon zu Beginn des Emissionsberichtszeitraums ab 1990 ist das flächendeckende Verbrennen von landwirtschaftlichen Rückständen in Deutschland untersagt. Nur im besonderen Ausnahmefall (z.B. bei Insektenbefall) kann eine Genehmigung auf kommunaler Ebene erteilt werden. Da hierüber keine offiziellen Daten vorliegen, berichtet Deutschland unter 3.F keine Emissionen (NO). Zu Details siehe Kap. 11.9 in Vos et al. (2022).

5.8 CO_2 aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)

5.8.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.G-I)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/T	3 G, Liming		CO2	2.200,5	0,2%	1.963,3	0,3%	-10,8%
-/-	3 H, Urea Application		CO2	481,0	0,0%	456,6	0,1%	-5,1%
-/-	3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	510,4	0,0%	189,7	0,0%	-62,8%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1	NS	D

Die Kategorie *CO_2 aus Kalkung* ist für CO_2-Emissionen ist eine Hauptkategorie nach dem Trend.

Kalkdüngung, d. h. die Zuführung von Carbonaten, verringert den Säuregehalt des Bodens und verbessert das Pflanzenwachstum, wobei CO_2 frei gesetzt wird. Die Kalkdünger umfassen alle Carbonate von Calcium und Magnesium als reine Stoffe oder als Beimengungen. Aufgrund des unterschiedlichen Carbonat-Kohlenstoffgehalts und den daraus resultierenden unterschiedlichen CO_2-Emissionsfaktoren wird in der Berichterstattung zwischen Dolomit und den übrigen Kalkdüngern unterschieden. Bei Letzteren wird die Ausbringung von Kalkammonsalpeter gesondert betrachtet; die daraus resultierenden CO_2-Emissionen werden unter CRF 3.I („Andere kalkhaltige Dünger“) berichtet, während die CO_2-Emissionen aus der Ausbringung der anderen Kalkdünger und Dolomit unter CRF 3.G berichtet werden. Die berichteten CO_2-Emissionen umfassen entsprechend den Anforderung in IPCC (2006b Vol 4, 11.3 & CRF Table 3.G-I)neben den Emissionen aus der Landwirtschaft auch die aus der Kalkung im Forstbereich.

Bei der Stickstoffdüngung mit Harnstoff entsteht unter Einwirkung von Urease und Wasser CO_2. Deutschland berichtet diese CO_2-Emissionen im Sektor 3.H ohne Abzug von CO_2, das bei der industriellen Herstellung von Harnstoffdünger gebunden wurde.

Die in diesem Kapitel berichteten CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffausbringung repräsentieren 100 % der CO_2-Emissionen des landwirtschaftlichen Sektors. Tabelle 323 zeigt als Ergänzung zur Tabelle oben die zeitliche Veränderung der Summe dieser CO_2-Emissionen seit 1990 sowie für Anfangs- und Endjahr der Zeitreihe die prozentualen Anteile an den gesamten THG-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft.

Tabelle 323: Prozentuale Veränderung der Summe der CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den THG-Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher THG-Gesamtemission 1990	2020
Summe von CO_2 aus Kalkung und Harnstoffanwendung	-18,2	4,5	4,7

5.8.2 Methodik und Emissionen (3.G-I)

Der in IPCC (2006b Vol 4, 11.27) angegebene Tier-2-Ansatz beruht auf Anwendung der Tier-1-Gleichung (Gleichung 11.12 in IPCC (2006b Vol 4, 11.27))nach der die Düngermenge mit dem Emissionsfaktor zu multiplizieren ist. Zu den Düngermengen siehe Kapitel 5.1.5.2. Für Dolomit und Kalkstein sind keine spezifischen deutschen Emissionsfaktoren verfügbar; daher werden die in IPCC (2006b Vol 4, 11.27) angegebenen Default-Emissionsfaktoren angewendet: 0,13 kg CO_2-C pro kg Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) und 0,12 kg CO_2-C pro kg Kalkstein ($CaCO_3$). Bei Kalkammonsalpeter entsteht CO_2 aus dem $CaCO_3$-Anteil, wofür der Kalkstein-Emissionsfaktor 0,12 kg CO_2-C pro kg $CaCO_3$ verwendet wurde. Davon ausgehend lässt sich ein auf die

Kalkammonsalpeter-Gesamtmasse bezogener Emissionsfaktor von 0,02748 kg CO_2-C pro kg ableiten, siehe Kap. 11.10.2 in Vos et al. (2022).

Die so berechneten CO_2-C-Emissionen werden für die Eintragung in die CRF-Tabellen durch Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 44/12 (IPCC (2006b Vol 4, 11.27))in CO_2-Einheiten umgerechnet. Diese CO_2-Emissionen stellen die höchstmöglichen Emissionen dar, da die o. g. Emissionsfaktoren auf der konservativen Annahme beruhen, dass der gesamte in den Düngern enthaltene Kohlenstoff in CO_2 umgewandelt wird.

Tabelle 324 zeigt den zeitlichen Verlauf der CO_2-Emissionen aus der Düngekalkung insgesamt sowie für die drei getrennt zu berichtenden Kalkdüngerkategorien.

Tabelle 324: CO_2-Emissionen aus der Düngekalkung (3.G, 3.I)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**2711,0**	**1669,6**	**2062,4**	**1736,4**	**1806,2**	**1857,4**	**1946,0**	**2064,8**	**2153,5**	**2136,5**	**2107,5**	**2150,7**	**2250,1**	**2233,1**	**2153,0**
in % von 1990	**100,0**	**61,6**	**76,1**	**64,1**	**66,6**	**68,5**	**71,8**	**76,2**	**79,4**	**78,8**	**77,7**	**79,3**	**83,0**	**82,4**	**79,4**
Kalkstein	1849,8	1071,5	1525,9	1328,1	1463,0	1509,8	1603,6	1735,7	1830,1	1828,8	1815,5	1878,4	1992,5	1991,0	1922,9
Dolomit	350,7	208,5	169,8	100,8	86,0	83,5	88,5	88,8	87,2	77,0	66,3	59,2	55,0	47,8	40,4
Kalkammonsalpeter	510,4	389,5	366,6	307,5	257,2	264,1	253,9	240,3	236,2	230,7	225,7	213,0	202,7	194,2	189,7

Die Tier-1-Methodik für CO_2-C-Emissionen aus Harnstoffanwendung (IPCC, 2006b Vol 4, 11.32) berechnet die Emissionen proportional zu Harnstoffmenge (siehe Kapitel 5.1.5.2). Als Proportionalitätsfaktor dient der CO_2-C-Emissionsfaktor, der stöchiometrisch abzuleiten ist und mit 0,2 kg CO_2-C pro kg Harnstoff angegeben wird (IPCC, 2006b Vol 4, 11.32). Die für die CRF-Tabellen erforderliche Umrechnung in CO_2-Einheiten erfolgt analog zu CO_2 aus Kalkung, siehe oben.Tabelle 325 zeigt die resultierende Zeitreihe.

Tabelle 325: CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung (3.H)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
[kt a^{-1}]	481,0	458,5	593,1	641,1	710,8	654,0	689,9	672,6	749,7	791,5	815,1	719,6	605,3	497,7	456,6
in % von 1990	100,0	95,3	123,3	133,3	147,8	136,0	143,4	139,8	155,8	164,5	169,5	149,6	125,8	103,5	94,9

5.8.3 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.G-I)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung wurde analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 für 2019 ein Vergleich der CO_2-Emissionenen aus Kalkung und Harnstoffanwendung in Deutschland (aktuelle Submission 2022) und benachbarten Staaten inklusive des Vereinigten Königreiches (Submission 2021, UNFCCC (2021a)) durchgeführt, siehe Tabelle 326.

Tabelle 326: Vergleich der deutschen CO_2 -IEF-Werte mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2019

[kg CO_2-C per kg of fertilizer]	Kalkstein [kg kg^{-1}]	Dolomit [kg kg^{-1}]	andere kalkhaltige Dünger [kg kg^{-1}]	Harnstoff-anwendung [kg ha^{-1}]
Österreich	0,12	0,13	0,12500	0,20
Belgien	0,12	0,13	NO	0,20
Tschechische Republik	0,12	0,13	NO	0,20
Dänemark	0,12	IE	0,03000	0,20
Frankreich	0,12	0,13	0,12500	0,20
Deutschland	**0,12**	**0,13**	**0,02748**	**0,20**
Niederlande	0,12	0,13	NO	0,20
Polen	0,12	0,13	0,12000	0,20
Schweiz	0,12	0,13	NO	0,20
Vereinigtes Königreich	0,12	0,13	NO	0,20
IPCC (2006b): Vol. 4, 11.27	0,12	0,13		0,20

Quelle: Deutschland: Submission 2022; andere Länder: UNFCCC (2021a)

IE, NO, n/a: Keine Daten verfügbar

Es zeigt sich, dass alle Länder, die CO_2-Emissionen aus der Kalkung von Kalkstein berichten, als Emissionsfaktoren die IPCC (2006b): Vol. 4-Defaultwerte verwenden. Dies gilt mit Ausnahme von Dänemark auch für die Dolomitanwendung. Die Anwendung anderer kalkhaltiger Dünger wird nur von einigen Ländern berichtet; würde der deutsche IEF auf zwei Dezimalstellen gerundet, entspräche er dem dänischen Wert. Alle verglichenen Länder berechnen die CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung, wobei einheitlich der IPCC (2006b) Default-Emissionsfaktor eingesetzt wurde.

5.8.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.G-I)

Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren für CO_2 aus Düngekalkung und Harnstoffanwendung an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden. Zur Herleitung der Unsicherheiten siehe Kap. 11.10.1 und 11.10.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Unsicherheit der Aktivitätsdaten umfasst dabei nicht die Unsicherheit, die daraus resultiert, dass i. d. R. nicht der gesamte ausgebrachte Kohlenstoff in CO_2 umgewandelt wird und die Umwandlungsrate nicht quantifizierbar ist. Die berechneten Emissionen stellen daher im Rahmen der in Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 angeführten Unsicherheiten maximal mögliche Emissionen dar.

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.8.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.G-I)

Die Emissionen unterscheiden sich von denen in Submission 2021 nur im Zeitreihenjahr 2019. Dies ist eine direkte Folge der jahresübergreifenden Mittelung der Aktivitätsdaten, siehe Kapitel 5.1.5.2.

Tabelle 327: CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2022, insgesamt	2711,0	1669,6	2062,4	1736,4	1806,2	1857,4	1946,0	2064,8	2153,5	2136,5	2107,5	2150,7	2250,1	2233,1	2153,0
2021, insgesamt	2711,0	1669,6	2062,4	1736,4	1806,2	1857,4	1946,0	2064,8	2153,5	2136,5	2107,5	2150,7	2250,1	2297,6	
2022 - 2021	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-64,5	2153,0
2022 - 2021, in %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,8	

5.8.6 Geplante Verbesserungen (3.G-I)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

5.9 CH_4 und N_2O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) (3.J)

5.9.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.J)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/T	**3 J, Other**		**CH4**	**0,3**	**0,0%**	**1.312,9**	**0,2%**	**475758,2%**
-/-	3 J, Other		N2O	0,1	0,0%	252,8	0,0%	202928,7%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	Q/RS/NS	CS/D
N_2O direct	Tier 2	Q/RS/NS	CS/D
N_2O indirect	Tier 1	Q/RS/NS	D
NO_X	Tier 2	Q/RS/NS	CS

Die Quellgruppe „CH_4 und N_2O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager“) ist eine Hauptkategorie für CH_4-Emissionen nach dem Trend.

Die Vergärung von Energiepflanzen dient vorrangig der Energiegewinnung. Die bei der Vergärung selbst (Fermenter) und der Lagerung der Gärreste entstehenden Emissionen (CH_4, N_2O und NO, siehe Kapitel 5.1.4.1) werden als separate Quellgruppe berichtet (CRF 3s2/J). Die Emissionen aus der Nutzung der Gärreste als Dünger werden zusammen mit den Emissionen aus der Ausbringung anderer Dünger unter 3.D.2.c berichtet.

Analog zum Wirtschaftsdünger werden auch für die Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von reaktivem Stickstoff berechnet. Es treten wie beim Wirtschaftsdünger keine indirekten N_2O-Emissionen aufgrund von Auswaschung/Oberflächenabfluss aus dem Lager auf.

Als Ergänzung zur Tabelle oben zeigt Tabelle 328 für das erste und das letzte Jahr der Zeitreihe die prozentualen Anteile der Emissionen von CH_4, N_2O und THG aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestlager) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH_4, N_2O und THG. Tabelle 328 verzichtet auf die Angabe der prozentualen Veränderungen der Emissionen seit 1990; solche Angaben sind wegen der geringen Verbreitung der Energiepflanzenvergärung im Jahr 1990 nur begrenzt aussagekräftig, wie die Tabelle oben zeigt. Die zeitliche Zunahme der Emissionen ist eine direkte Folge der wachsenden Substratmengen.

Tabelle 328: Prozentuale Anteile der Emissionen aus der Energiepflanzenvergärung (Fermenter + Gärrestlager; Index: EC) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH_4, N_2O und THG

[%]	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (CH_4, N_2O, THG)	
	1990	2020
$CH_{4,EC}$	0,0	4,1
N_2O_{EC}	0,0	1,2
$CH_{4,EC}$ + N_2O_{EC} als THG (in CO_{2eq})	0,0	2,8

5.9.2 Methodische Aspekte (3.J)

Die Berechnung der CH_4-Emissionen und der direkten N_2O-Emissionen erfolgt analog zur Emissionsberechnung bei der Vergärung von Mist (siehe Kapitel 5.1.3.6.5), allerdings ohne Vorlager.

Wie beim Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.3.5) werden auch für die Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von reaktivem Stickstoff berechnet, der im Falle der Energiepflanzen aus NH_3- und NO-Emissionen aus dem Energiepflanzen-Gärrestelager stammt. Die NO-Emissionen aus dem Gärrestelager werden wie bei Wirtschaftsdünger analog zu den N_2O-Emissionen berechnet (siehe Kapitel 5.3.4.2). Zur Berechnung der NH_3-Emissionen aus dem Energiepflanzen-Gärrestelager wird auf Kap. 10 in Rösemann et al. (2021) verwiesen.

5.9.3 CH_4-Emissionsfaktor und -Emissionen (3.J, CH_4)

Tabelle 329 zeigt den zeitlichen Verlauf des CH_4-Emissionsfaktors für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager), bezogen auf die Trockenmasse-Mengen, die mit den Energiepflanzen in den Vergärungsprozess eingebracht wurden (siehe Kapitel 5.1.4.2). Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wird in Abweichung von der sonst für die Emissionsfaktoren üblichen Einheit (kg kg^{-1}) die Einheit g kg^{-1} verwendet. Die Abnahme des Emissionsfaktors mit der Zeit beruht auf der zunehmenden Verbreitung der gasdichten Lagerung der Gärreste (siehe Kapitel 5.1.4.2), für die anstelle des höheren Emissionsfaktors der offenen Lagerung nur die CH_4-Leckagerate zu berücksichtigen ist.

Tabelle 329: CH_4-Emissionsfaktor für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte Trockenmasse

[g kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	3,23	3,19	3,14	3,08	2,83	2,78	2,67	2,64	2,63	2,62	2,62	2,62	2,62	2,61	2,61

Die CH_4-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) gehen aus Tabelle 330 hervor. Der ansteigende Trend ist eine Folge der starken Zunahme der vergorenen Energiepflanzen-Menge insbesondere seit 2005; er wird durch die zunehmende Verbreitung gasdichter Gärrestelagerung abgeschwächt. Zu Details siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 330: CH_4-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	0,01	0,14	1,20	9,91	32,89	40,31	42,35	50,74	52,74	54,64	54,29	53,46	52,62	52,52	52,52

5.9.4 N_2O-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, N_2O)

Die Emissionsfaktoren für direkte N_2O-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager) sind in Tabelle 331 dargestellt. Diese Daten repräsentieren den Mittelwert für gasdichte und offene Lagerung und spiegeln in ihrem abnehmenden Trend die mit den Jahren zunehmende Verbreitung der gasdichten Lagerung, die kein N_2O emittiert. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wird in Abweichung von der sonst für die Emissionsfaktoren üblichen Einheit (kg kg^{-1}) die Einheit g kg-1 verwendet. Die Emissionsfaktoren in Tabelle 331 sind auf die N-Mengen anzuwenden, die mit den Energiepflanzen in den Vergärungsprozess eingebracht wurden (siehe Kapitel 5.1.4.2).

Tabelle 331: Effektiver N_2O-N-Emissionsfaktor für direkte N_2O-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte N-Menge

[g kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	5,00	4,77	4,53	4,21	2,89	2,63	2,03	1,90	1,80	1,77	1,76	1,77	1,76	1,72	1,72

Als Emissionsfaktor für indirekte N_2O-Emissionen infolge der Deposition von NH_3 und NO aus der Lagerung der Energiepflanzen-Gärreste wird wie beim Wirtschaftsdünger EF = 0,01 kg kg^{-1} angesetzt (IPCC (2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3). Dieser Emissionsfaktor ist mit den N-Depositionsmengen zu multiplizieren, die in Kapitel 5.1.5.1.4 angegeben sind, um die entsprechenden Emissionen zu erhalten.

Die berechneten direkten und indirekten N_2O-Emissionen zeigt Tabelle 332. Der zeitliche Verlauf spiegelt den starken Anstieg der vergorenen Energiepflanzen-Mengen (siehe Kapitel 5.1.4) insbesondere seit 2005 wider. Die deutliche Abnahme der Emissionen von 2011 zu 2012 ist die Folge einer überdurchschnittlichen Zunahme der Verbreitung der gasdichten Lagerung, siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 332: N_2O-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**0,000**	**0,005**	**0,042**	**0,331**	**0,821**	**0,931**	**0,788**	**0,893**	**0,886**	**0,902**	**0,891**	**0,884**	**0,864**	**0,848**	**0,848**
N_2O_{direkt}	0,000	0,005	0,040	0,315	0,781	0,886	0,750	0,849	0,843	0,858	0,847	0,841	0,822	0,807	0,807
$N_2O_{indirekt}$	0,000	0,000	0,002	0,016	0,040	0,046	0,039	0,044	0,043	0,044	0,044	0,043	0,042	0,041	0,041

5.9.5 NO-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, NO)

Wie beim Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.3.4.2.2) werden die NO-Emissionen proportional zu den direkten N_2O-Emissionen berechnet, indem der auf die eingebrachte N-Menge anzuwendende NO-N-Emissionsfaktor mit 10 % des N_2O-N-Emissionsfaktors angesetzt wird.

Tabelle 333 zeigt den zeitlichen Verlauf der NO-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager).

Tabelle 333: NO-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	0,000	0,001	0,005	0,043	0,107	0,121	0,102	0,116	0,115	0,117	0,116	0,115	0,112	0,110	0,110

5.9.6 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.J)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Eine Verifizierung kann mangels anderer deutscher Datenquellen nicht durchgeführt werden. Ein internationaler Vergleich als Ersatz scheidet ebenfalls aus, da andere Länder keine vergleichbare Verbreitung der Vergärung von Energiepflanzen aufweisen.

5.9.7 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.J)

Tabelle 263 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren im Zusammhang mit der Vergärung von Energiepflanzen an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden. Zur Herleitung der Unsicherheiten siehe Kap. 10.1 und 10.2.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.9.8 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.J)

Die Emissionszeitreihen von CH_4 und N_2O (siehe Kapitel 5.1.4.2) wurden die gesamten Emissionszeitreihen von CH_4 und N_2O (siehe Kapitel 5.9.3 und 5.9.4) wurden mit der gegenüber Submission 2020 unveränderten Methodik neu berechnet. Tabelle 334 vergleicht die Ergebnisse de vorliegenden Submission mit denen der letztjährigen Submission. Abweichungen gab es nur für das Jahr 2019 aufgrund der für dieses Jahr aktualisierten Aktivitätsdaten, siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 334: Vergleich der THG-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) zwischen Submission 2022 und 2021 (3.J)

CO_2eq	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2022 [kt]	0,40	5,02	42,5	346,3	1067,1	1285,2	1293,7	1534,6	1582,5	1634,9	1622,7	1599,8	1573,1	1565,7
2021 [kt]	0,40	5,02	42,5	346,3	1067,1	1285,2	1293,7	1534,6	1582,5	1634,9	1622,7	1599,8	1573,1	1573,1
2022- 2021 [kt]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7,37289521
2022- 2021 [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,46869726

5.9.9 Geplante Verbesserungen (3.J)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF Sektor 4)

6.1 Übersicht (CRF Sektor 4)

6.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen und -senken 1990 - 2020

In der Unterkategorie „Forstwirtschaft und andere Landnutzung“ des LULUCF-Sektors (Common Reporting Framework Sektor 4) wird in Deutschland über positive (Quelle) und negative (Senke) CO_2-Emissionen der Kohlenstoffpools[92]

- ober- und unterirdische Biomasse
- Totholz, Streu
- organische und mineralische Böden
- Holzprodukte (4.G)

berichtet, für die Landnutzungskategorien

- Wald (4.A.1)
- Acker (4.B.1)
- Grünland (4.C.1)
- Feuchtgebiete (4.D.1)
- Siedlungen (4.E.1)

sowie die jeweiligen Landnutzungsänderungen zwischen diesen Nutzungskategorien (CRF 4.A.2 - 4.E.2). In der Kategorie Sonstiges Land (4.F) treten keine anthropogen bedingten Emissionen auf, da die Flächen nicht genutzt werden. Landnutzungsänderungen zu Sonstigem Land finden nicht statt, da einmal genutztes Land per Definition nicht wieder in ungenutztes überführt werden kann.

Des Weiteren werden inventarisiert:

- CO_2-Emissionen aus
  - dem industriellen Torfabbau (4.D.1)
  - Moorbrand (4.(V))
- N_2O-Emissionen aus
  - organischen Böden der Landnutzungskategorien 4.A, 4.C (nur Gehölze), 4.D, 4.E (Emissionen aus den Kategorien 4.B Ackerland und 4.C Grünland im engeren Sinn werden unter Landwirtschaft CRF 3.D.a.6 berichtet)
  - direkte (CRF 4.(III)) und indirekte (CRF 4.(IV)) Emissionen aus der Humusmineralisation in Mineralböden infolge Landnutzungsänderung bzw. Landbewirtschaftung (Emissionen aus der Kategorie 4.B.1 werden unter Landwirtschaft CRF 3.D.a.5 berichtet)
  - dem industriellen Torfabbau (4.(II))
  - Waldbrand (4.(V))
- CH_4-Emissionen aus
  - organischen Böden (4.(II))
  - Entwässerungsgräben organischer Bodenflächen (4.(II))
  - dem industriellen Torfabbau (4.(II))
  - Waldbrand (4.(V))

[92] CO2-Emissionen aus Waldbränden werden über die Kohlenstoffänderung im Wald implizit berücksichtigt.

- Moorbrand (4.(V))

Bei der Berichterstattung über die Freisetzung/Einbindung der Treibhausgase in jeder Landnutzungskategorie wird unterschieden zwischen Flächen, die in der Berichtsperiode

- keiner Landnutzungsänderung unterliegen, somit unverändert in der Landnutzungskategorie verbleiben (Verbleibkategorie 4.A.1 - 4.F.1)
- eine Umnutzung erfahren: Diese werden vom Zeitpunkt der Umnutzung in der Kategorie berichtet, deren Nutzung sie zugeführt wurden. Die Änderungsflächen werden in diesen neuen Landnutzungskategorien für 20 Jahre in Übergangskategorien (4.A.2 - 4.F.2) berichtet. Nach 20 Jahren in einer Übergangskategorie werden diese Flächen dann in die Verbleibkategorie übernommen. Kommt es vor Ablauf der Übergangsfrist von 20 Jahren erneut zu Landnutzungsänderungen, werden die betroffenen Flächen vom Zeitpunkt der Nutzungsänderung an sofort der neuen Übergangskategorie zugeschlagen. Die Frist von 20 Jahren beginnt dann erneut (effektive Übergangszeit)

Abbildung 49, Abbildung 50 und Abbildung 51 geben für die vorliegende Submission 2022 eine Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O als CO_2-Äquivalente) aus den Bereichen 4.A-4.E, aufgeteilt nach Unterkategorien, Pools und Treibhausgasen. Auf der X-Achse ist die Jahresleiste im Berichtszeitraum und auf der Y-Achse die Emissions- (positive Werte) und die Senkenwirkung (negative Werte) in Kilotonnen CO_2-Äquivalenten (kt CO_2-Eq.) dargestellt.

Die deutlichen Änderungen der Emissionen in den Jahren 1990, 2002 und 2008 sind auf stark veränderte Emissionsfaktoren für die Forstbiomasse durch die Holznutzung zurückzuführen. Diese hat in der Inventurperiode 1991 bis 2001 gegenüber 1990 stark abgenommen (1990 verstärkte Aufarbeitung von Sturmschäden), zwischen 2002 - 2008 war eine Zunahme, 2008 eine leichte Abnahme zu verzeichnen (siehe Kapitel 6.4.2.2.1). Die Abnahme der Senkenfunktion der Forstbiomasse zwischen 2017 und 2020 ist auf die Waldschäden infolge der großen Trockenheit in diesen Berichtsjahren zurückzuführen. Die Zeitreihen spiegeln neben den Veränderungen bei der Forstbiomasse die Trends der Landnutzungsänderungen wider (siehe Kapitel 6.3.5). Für die Erfassung von Landnutzungsänderungen wurden Datensätze der Stichjahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 verwendet (vergl. Kapitel 6.3). Die Landnutzungsänderungen wurden zwischen den Stichjahren linear interpoliert, so dass sich zwischen den Stichjahren jeweils konstante mittlere Landnutzungsänderungen ergeben (siehe Tabelle 360).

Der Verlauf der Nettoemissionen von 1990 bis 2020 zeigt, dass der Sektor in den meisten Jahren als Senke fungierte. Hauptursache hierfür ist die Landnutzungskategorie Wald. Die Pools Waldbiomasse und -böden tragen einen bedeutenden Teil zur Senke bei. Einen Anteil an der Senkenfunktion liefern ebenfalls die Holzprodukte durch ihre Funktion als Kohlenstoffspeicher. Dem gegenüber stehen hauptsächlich die Emissionen aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen der Landnutzungskategorien Acker- und Grünland. Diese beiden Kategorien weisen über die Jahre anhaltend hohe Emissionen aus entwässerten organischen Böden auf. Die Landnutzungskategorie Feuchtgebiete trägt hauptsächlich durch den industriellen Torfabbau zur Freisetzung von THG-Emissionen bei. In den Jahren 1990, 2002, 2003, 2004, 2005 und 2007 war der LULUCF-Sektor eine Quelle für Treibhausgase, im wesentlichen zurückzuführen auf die verringerte Senkenfunktion des Waldes durch verstärkte Holzeinschläge, die hauptsächlich aufgrund der Aufarbeitung von Waldschäden infolge unterschiedlicher Kalamitäten verursacht worden.

Dominierendes Treibhausgas ist Kohlenstoffdioxid (CO_2), welches Netto als bedeutende Senke wirkt. Die Freisetzung von Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) ist demgegenüber gering. Detaillierte Beschreibungen der Emissionen und deren Zeitreihen finden sich in den jeweiligen Kapiteln der Landnutzungskategorien (Kapitel 6.4.1, Kapitel 6.5.1, Kapitel 6.6.1, Kapitel 6.7.1, Kapitel 6.8.1 und Kapitel 6.10.1).

Abbildung 49: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Unterkategorien

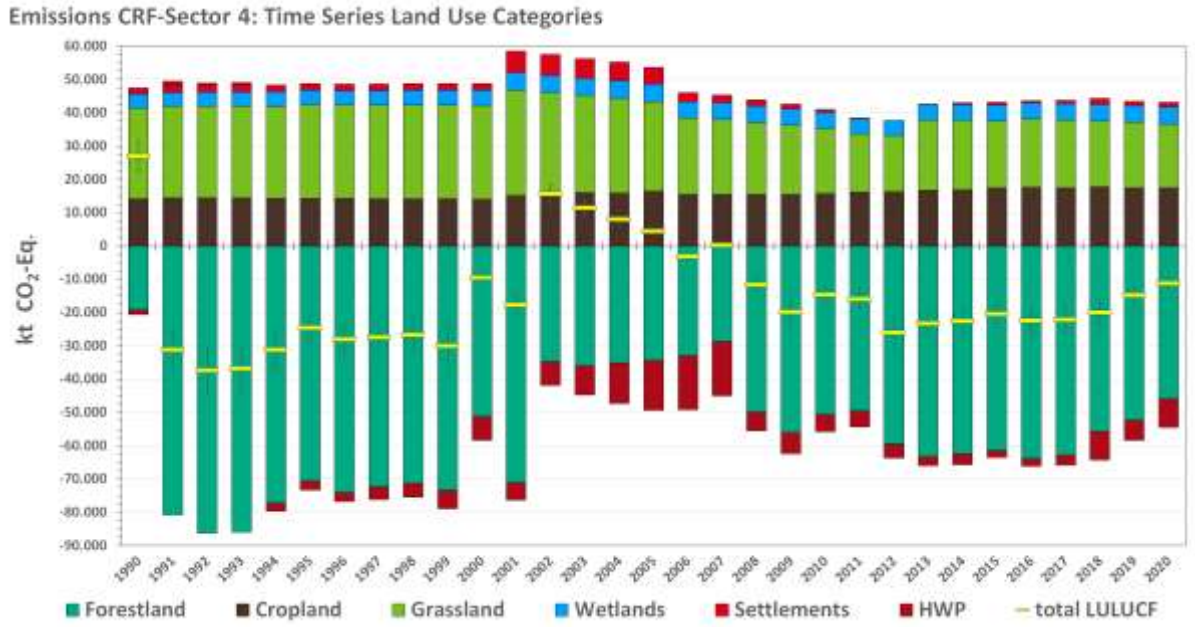


Abbildung 50: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Pools

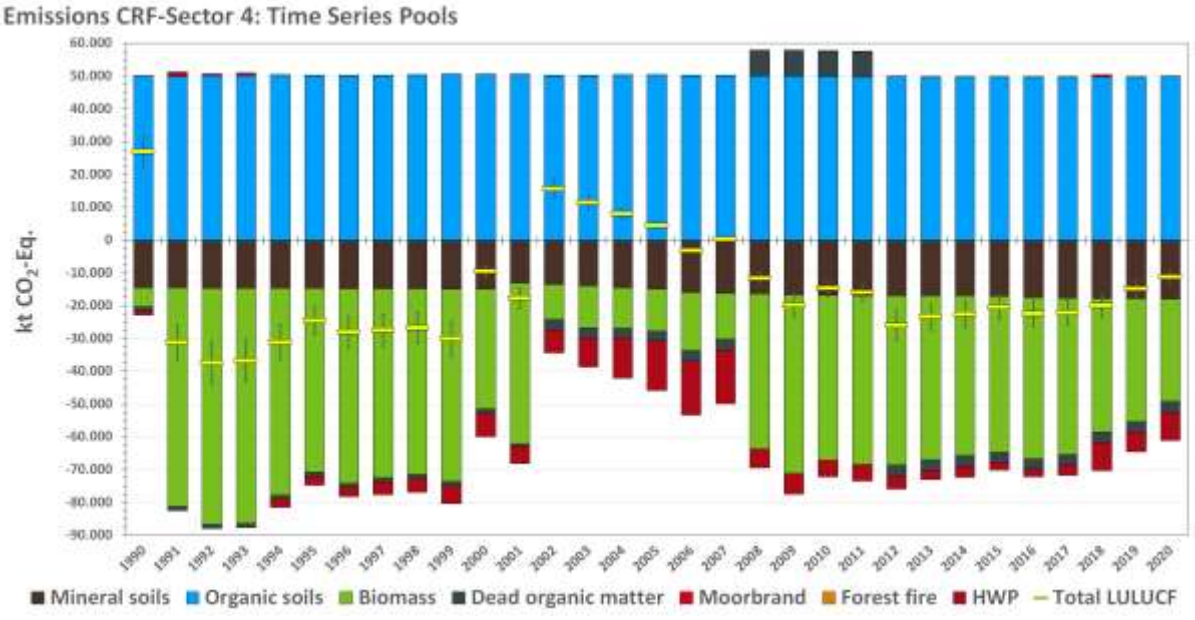
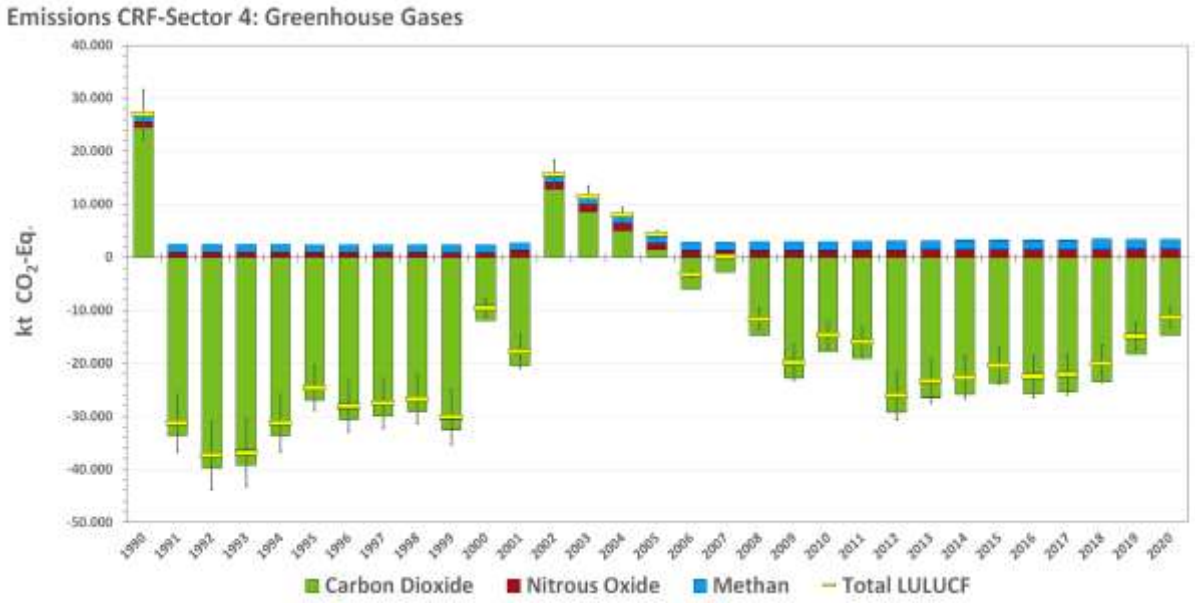


Abbildung 51: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Treibhausgasen (GHG)



Die Gesamtunsicherheit des deutschen LULUCF-Inventars (ohne Holzprodukte) beträgt 17,4 %. Ausführungen hierzu finden sich in den entsprechenden Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien sowie im Kapitel 6.1.2.1.

6.1.2 Methodische Grundlagen

Das für den CRF-Sektor 4 in den 2006 IPCC Guidelines geforderte System der Landnutzungssysteme wurde von Deutschland übernommen; die Umsetzung ist in Tabelle 335 dargestellt, genaue Definitionen und Beschreibungen finden sich in Kapitel 6.2 (vergl. auch Kapitel 6.3).

Tabelle 335: Zuordnung der deutschen Berichtskategorien zu den IPCC-Landnutzungskategorien

IPCC-Kategorie	Deutsche LULUCF-Kategorien	
4.A Wald	Wald	
4.B Ackerland	Ackerland mit annuellen Kulturen	
	Ackerland mit perennierenden Kulturen	Hopfenanbau
		Weinanbau
		Obstanbau
		Kurzumtriebsplantagen
		Baumschulen
		Weihnachtsbaumkulturen
4.C Grünland	Grünland im engeren Sinne	
	Gehölze	
4.D Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete	
	Gewässer	
	Torfabbau	
4.E Siedlungen	Siedlungen	
4.F Sonstiges Land	Sonstiges Land	
4.G Holzprodukte	Holzprodukte	

Grundlegende Elemente und Schritte bei der Erstellung des LULUCF-Inventars

1. **Landnutzungsmatrix$_{\text{jährlich}}$ *[Area_ann]***: Jährliche Berechnung der Gesamtfläche für die Unterkategorien „verbleibende Landnutzung“ und „Landnutzungsänderung“ für die Kategorien Wald, Ackerland$_{\text{annuell}}$, Hopfen, Wein, Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen, Grünland im engeren Sinn, Gehölze, terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau, Siedlungen und sonstiges Land, für alle Zeitreihen unterteilt nach mineralischen und organischen Böden. Die Landnutzung und deren Flächenausweisung wurden explizit bestimmt für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020. Für die Zeiträume zwischen diesen Jahren wurden die ermittelten Flächen den IPCC-Guidelines folgend (2006 IPCC Guidelines IPCC (2006a), Vol. 4 Ch. 3 Fig. 3.1) linear interpoliert (siehe Kapitel 6.3)**.**
2. **Emissionsfaktoren für Kohlenstoffvorräte, Lachgas- und Methanemissionen im Jahr der Landnutzungsänderung *[EF_ann]***: Die Emissionsfaktoren für die verschiedenen Pools werden differenziert nach Landnutzungskategorie für jeden Erhebungspunkt individuell berechnet (Kapitel 6.1.2 ff). Die Kohlenstoffvorräte, Lachgas- und Methanemissionen pro Flächeneinheit sind über die Zeit nicht konstant.
3. **Kohlenstoffvorratsänderungen für die jährlichen Landnutzungsänderungen *[E_ann]*** werden nach der Formel ***E_ann [z.B. t C] = EF_ann [z.B. t C/ha]* Area_ann [ha]*** berechnet, unter der Annahme, dass die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung im Jahr der Landnutzungsänderung auftritt.
4. **Einführung einer maximal zwanzigjährigen Übergangszeit *[Area_20y]***: Die Berechnung der Landnutzungsmatrix beginnt 1970, um die Landnutzungsänderungsflächen vor dem eigentlichen Berichtszeitraum zu ermitteln (siehe Kapitel 6.3.4). Ermittelte Übergangsflächen werden der jeweiligen Landnutzungsänderungskategorie im Jahr des Übergangs zugeschlagen und verbleiben für maximal 20 Jahre in dieser Kategorie. Nach 20 Jahren werden die Flächen in die Verbleibkategorie der Zielnutzung überführt. Folgerichtig sind ab dem zweiten Berichtsjahr die Flächen in den Verbleibkategorien kleiner, in den Übergangskategorien größer, als in einer jährlichen Landnutzungsmatrix. Die Flächen sind in den CRF-Tabellen, Tabelle 358 und Tabelle 359 dargestellt. Sind Flächen innerhalb der 20 Jahre

Übergangszeit erneut von Landnutzungsänderungen betroffen, werden diese unmittelbar zum Zeitpunkt der Umnutzung in die neue Übergangskategorie überführt und die Frist von 20 Jahren beginnt erneut.

5. **Emissionsfaktoren *[EF]* und implizite Emissionsfaktoren *[IEF]* für die zwanzigjährige Übergangszeit *[IEF_20y]***: Diese Faktoren sind in den CRF-Tabellen dargestellt. Es werden jährliche Emissionsfaktoren in Emissionsfaktoren bzw. impliziete Emissionsfaktoren umgerechnet, die zu den Flächen der Landnutzungsmatrix mit zwanzigjähriger Übergangszeit passen. Die Konversion von ***EF_ann*** zu ***IEF_20y*** führt nach der Verrechnung mit den mineralischen und organischen Bodenflächen für die Emissionen aus Pools zu angepassten, also impliziten, IEFs. Auch wenn die absoluten Emissionen unverändert bleiben, werden die IEF beeinflusst von den jährlichen Nettoänderungen der Flächen und den unterschiedlichen ***IEF_20y*** der Mineralböden in den Übergangskategorien infolge von erneuten Landnutzungsänderungen innerhalb der 20-jährigen Übergangszeit. Dabei kommen folgende Formeln zur Anwendung:

    - **Mineralböden**: Die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung infolge Landnutzungsänderung wird nach der Formel ***IEF_20y = EF_ann / 20*** linear auf 20 Jahre Übergangszeit aufgeteilt; d.h. nur ein Zwanzigstel der Gesamtemission wird jährlich veranschlagt. Aufgrund der Einführung der effektiven Übergangszeit, muss der Kohlenstoffvorrat in den Mineralböden an jedem Aufnahmepunkt nachverfolgt und archiviert werden, da dieser, bei erneuter Landnutzungsänderung innerhalb der 20 Jahre Übergangsfrist, verrechnet mit dem neuen Zielwert, die Grundlage zur Berechnung des neuen ***EF_ann*** bildet (s. Kapitel 6.1.2.1.1)
    - **Organische Böden I**: In den Landnutzungskategorien Wald und Gehölze werden jedes Jahr die gleiche Menge CO_2, CH_4 und N_2O emittiert, in den Übergangskategorien genauso wie in der Verbleibkategorie der neuen Landnutzung. Dies gilt auch für die N_2O-Emissionen aller anderen Landnutzungskategorien; ***IEF_20y = EF_ann***.
    - **Organische Böden II**: Für Flächen auf organischen Böden unter Ackerland (inkl. aller Subkategorien), Grünland i.e.S., Feuchtgebieten (inkl. aller Subkategorien) und Siedlungen werden die CO_2- und CH_4-Emissionen jährlich berechnet, mittels Responsefunktionen in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel.
    - **Netto-Kohlenstoffvorratsänderung, Kohlenstoffzu- und -abnahme in der Biomasse annueller, krautiger Pflanzen und toter organischer Substanz (Ackerland$_{annuell}$, Hopfenanbau, Grünland i.e.S., Gewässer, Torfabbau)**: Alle Emissionen werden vollständig im Jahr der Landnutzungsänderung veranschlagt, nach der Formel ***IEF_20y = E_ann / [Area_20y]***.
    - **Netto-Kohlenstoffvorratsänderung, Kohlenstoffzunahme in Biomasse und toter organischer Substanz bei Landnutzungsänderung zu Wald, Wein- und Obstanbau, Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen, Gehölze, Feuchtgebiete und Siedlungen**: Die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung infolge Landnutzungsänderung wird nach der Formel ***IEF_20y = EF_ann*** berechnet; d.h. jedes Jahr wird auf der gesamten Landnutzungsänderungsfläche die Kohlenstoffsenke veranschlagt.
    - **N_2O aus dem Verlust von organischer Substanz in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderung zu Acker**: Es wird dieselbe Methode wie bei Kohlenstoffvorratsverlusten in Mineralböden verwendet. Die gesamte

Kohlenstoffvorratsänderung infolge Landnutzungsänderung wird linear auf die 20 Jahre Übergangszeit aufgeteilt, nach der Formel ***IEF_20y = E_ann / Area_20y***; d.h. nur ein Zwanzigstel der Gesamtemission wird jährlich veranschlagt. In Bezug auf erneute Landnutzungsänderung innerhalb der 20-Jahresfrist gilt ebenfalls dasselbe.

6. **Gesamte Kohlenstoffvorratsänderungen für Flächen mit zwanzigjähriger Übergangszeit**, werden für die Klimarahmenkonvention nach folgender Formel: ***E_20y [kt C] = IEF_20y [t C/ha]* Area_20y [kha]*** berechnet.
7. **Berechnung der CO_2-Emissionen** aus den Kohlenstoffwerten für den NIR durch Multiplikation der Kohlenstoffvorratsänderungen mit dem Faktor -44/12.
8. **Berechnung der N_2O-Emissionen** aus Stickstoffwerten durch Multiplikation der Stickstoffvorratsänderungen mit dem Faktor -44/28; die Umrechnung der N_2O-Werte in CO_2-Äquivalente erfolgt mit dem Faktor 298 (GWP 100 gemäß Decision 24/CP.1 (Annex III)).
9. **Umrechnung von CH_4-Emissionen** in CO_2-Äquivalente erfolgt mit dem Faktor 25 (GWP 100 gemäß Decision 24/CP.1 (Annex III)).

Die Submission 2022 wurde nach den Regelwerken

- 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006a)
- 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC et al., 2014a)
- 2013 Supplement to the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (IPCC et al., 2014b)

zusammengestellt. Maßgebliche Maßnahmen zur Inventarverbesserung, die in dieser Submission zur Anwendung kamen und zu Neuberechnungen führten sind:

- Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten bezüglich der Ausweisung von Landnutzungen und Landnutzungsänderungen sowie Anpassung der Landnutzungsmatrix über die Zeit (s. Kapitel 6.3.1 ff) Implementierung von Modellen zur Berechnung und Nachverfolgung des Kohlenstoffvorrates in der Biomasse von perrenierenden Pflanzen ausserhalb des Waldes, in Abhängigkeit von Art, Alter und Bewirtschaftungsaspekten (z.B. Umtriebszeiten, Schnitt, Neubegründung), an jedem Aufnahmepunkt auf jährlicher Basis (s. Kapitel 6.1.2.2ff)
  - Anpassung der Emissionsfaktoren für die ober- und unterirdische Waldbiomasse (s. Kapitel 6.1.2.3.4 ff und Kapitel 6.4.2.2)
  - Anpassung der Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)
  - Anpassung der Emissionsfaktoren für die Biomasse bei Landnutzungsänderung der Kategorie Gehölze zu Wald (siehe auch Kapitel 6.1.2.3.6)
  - Korrektur des Wertes für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.8.2.4)
  - Modifizierung des Emissionsfaktors für Lachgasemissionen aus organischen Böden unter Siedlung (Kapitel 6.8.2.4)
  - Korrektur des Algorithmus zur Berechnung der Methanemissionen aus der Subkategorie Gewässer (Kapitel 6.7.2.4)

Abgesehen von diesen Änderungen kamen die Methoden, Datenquellen und Emissionsfaktoren des Vorjahres zur Anwendung. Die Berechnungen zur Ermittlung aller Emissionen und inventarrelevanten Größen für den LULUCF-Sektor Deutschlands werden mittels eines digitalen

Programmsystems in einem kombinierten Geoinformations-/Datenbanksystem vollständig automatisiert umgesetzt.

6.1.2.1 Kohlenstoffemissionen aus Mineralböden (4.A bis 4.F)

6.1.2.1.1 Übersicht Methodik

Die Fläche der Mineralböden wurde als Differenz der Gesamtflächen und der Flächen organischer Böden berechnet (Kapitel 6.1.2.2).

Die Veränderungen der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräte in Mineralböden werden, gemäß Gleichung 2.25 in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006a), als Differenz zwischen den jeweiligen Vorräten vor und nach den entsprechenden Landnutzungsänderungen berechnet. Die Emissionsfaktoren wurden landesspezifisch abgeleitet. Die Werte für die Waldböden (CRF 4.A) entstammen aus den Bodenzustandserhebungen im Wald (s. Kapitel 6.4.2.5.3). Für die Kategorie 4.A.1 "Wald bleibt Wald" wurde im Rahmen der Bodenzustandserhebungen im Wald eine jährliche Kohlenstoffvorratsänderung von 0,41 ± 0,11 t C $ha^{-1}a^{-1}$ ermittelt (vergl. Kapitel 6.4.2.5.4). Diese wird jährlich dem Vorjahresvorrat zugeschlagen und als Einbindung berichtet.

Die landesspezifischen, repräsentativen Kohlenstoffvorräte für die Landnutzungskategorien 4.B ($Ackerland_{annuell}$, Hopfen, Obst, Wein, Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen), 4.C (Grünland i.e.S., Gehölze) und 4.D.1 (Terrestrische Feuchtgebiete) wurden anhand einer flächendeckenden Inventur landwirtschaftlich genutzter Böden ermittelt (Bodenzustandserhebung Landwirtschaft, Jacobs et al. (2018)). Für die Landnutzungskategorien Sonstiges Land wurde ein repräsentativer, flächengewichteter Kohlenstoffvorrat für Mineralböden bis 30 cm Bodentiefe aus in Deutschland vorhandenen nutzungsdifferenzierten Profildaten bestimmt.

Für die Kategorie Siedlungen wurden landesspezifische Kohlenstoffvorräte basierend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft abgeleitet, in Abhängigkeit von der Richtung der Landnutzungsänderung, der Vornutzung und dem Versiegelungsgrad der Flächen (Kapitel 6.1.2.1.6). Die Berichterstattung für Mineralböden erfolgt somit einem Tier-2-Ansatz.

Bei Mineralböden der Landnutzungskategorien 4.B, 4.C, 4.D, 4.E und 4.F wird bei gleichbleibender, gleichnamiger Nutzung unterstellt, dass die Kohlenstoffein- und -austräge in die Böden gleich groß, die Systeme somit im Gleichgewicht sind. Begründungen finden sich in Kapitel 6.5.2.3 und Kapitel 6.6.2.3. In den CRF-Tabellen sind die entsprechenden Felder mit NA gekennzeichnet (gemäß Forderung des ERT 2021).

In der Kategorie Feuchtgebiete (4.D) kommen Mineralböden nur in den Subkategorien terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer vor. Bei Landnutzungsänderungen zu Gewässern werden keine Kohlenstoffvorratsänderungen angesetzt; bei Landnutzungsänderungen von Gewässern zu anderen Landnutzungsformen wird, wenn bekannt, die Differenz zwischen Vorgewässer- und Zielnutzung veranschlagt, andernfalls keine Änderungen unterstellt.

Die Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderungen werden für jede Übergangskategorie als Differenz des Kohlenstoffvorrates der Zielnutzungskategorie und des Kohlenstoffvorrates der Ursprungskategorie berechnet. Da sich der Kohlenstoffvorrat von Waldböden (4.A) jährlich verändert, werden die jeweils jährlich gültigen Werte den Inventarberechnungen zugrunde gelegt. Die Gesamtänderung wird gemäß IPCC-Default (IPCC, 2006a) auf einen Zeitraum von 20 Jahren linear verteilt. Die Summe der Kohlenstoffvorratsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen in den Mineralböden Deutschlands errechnet sich für 20 Jahre dann wie folgt:

$$\Delta C = C_{final} - C_{initial}$$

ΔC: Veränderung des Kohlenstoffvorrates infolge Landnutzungsänderung in Mineralböden einer Übergangskategorie [t C (20*a)$^{-1}$]

C_{final}: Mineralbodenkohlenstoffvorrat [t C] der Zielkategorie

$C_{initial}$: Mineralbodenkohlenstoffvorrat [t C] der Ausgangskategorie

Ausnahme hiervon bilden Landnutzungsänderungen hin zu Siedlungen. In diesem Fall werden einmalig, nur im Jahr der Nutzungsänderung, 11 % des Kohlenstoffvorrates des Mineralbodens der Vornutzung als Emission veranschlagt (Kapitel 6.1.2.1.6). Die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden der einzelnen Landnutzungskategorien, sowie die daraus abgeleiteten als Emissionsfaktoren genutzten Kohlenstoffvorratsdifferenzen, sind für das Jahr 2020 in Tabelle 336 dargestellt und deren Herleitung in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Tabelle 336: Mittlere Kohlenstoffvorräte in Mineralböden Deutschlands in Abhängigkeit von der Landnutzung [t C ha^{-1}] sowie daraus abgeleitete Kohlenstoffvorratsunterschiede nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020

Mittlerer Kohlenstoffvorrat in Mineralböden Deutschlands im Jahre 2020															
	Wald	Acker$_{annuell}$	Hopfen	Weinanbau	Obstanbau	Baumschulen	Weihnachtsbaum-kulturen	Kurzumtriebs-plantagen	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen#	Sonstiges Land
[t C ha^{-1}]	*67,54*	61,18	62,89	49,30	71,69	62,89	62,89	62,89	89,41	62,89	109,31			36,81	55,60

Kohlenstoffvorratsänderung in 20 Jahren [t C ha^{-1} (20 a)$^{-1}$]															
Initial\Final	**Wald**	**Acker$_{annuell}$**	**Hopfen**	**Weinanbau**	**Obstanbau**	**Baumschulen**	**Weihnachtsbaum-platagen**	**Kurzumtriebs-platagen**	**Grünland i.e.S.**	**Gehölze**	**Terrestrische Feuchtgebiete**	**Gewässer**	**Torfabbau**	**Siedlungen**	**Sonstiges Land**
Wald		*-6,36*	*-4,65*	*-18,24*	*4,15*	*-4,65*	*-4,65*	*-4,65*	*21,87*	*-4,65*	*41,77*	0	NO	*-30,73*	NO
Acker$_{annuell}$	*6,36*		1,71	-11,88	10,51	1,71	1,71	1,71	28,23	1,71	48,13	0	NO	-6,73	NO
Hopfen	*4,65*	-1,71		-13,59	8,8	0	0	0	26,52	0	46,42	0	NO	-6,92	NO
Weinanbau	*18,24*	11,88	13,59		22,39	13,59	13,59	13,59	40,11	13,59	60,01	0	NO	-5,42	NO
Obstanbau	*-4,15*	-10,51	-8,8	-22,39		-8,8	-8,8	-8,8	17,72	-8,8	37,62	0	NO	-7,89	NO
Kurzumtriebsplantagen	*4,65*	-1,71	0	-13,59	8,8		0	0	26,52	0	46,42	0	NO	-6,92	NO
Baumschulen	*4,65*	-1,71	0	-13,59	8,8	0		0	26,52	0	46,42	0	NO	-6,92	NO
Weihnachtsbaum-kulturen	*4,65*	-1,71	0	-13,59	8,8	0	0		26,52	0	46,42	0	NO	-6,92	NO
Grünland i.e.S.	*-21,87*	-28,23	-26,52	-40,11	-17,72	-26,52	-26,52	-26,52		-26,52	19,9	0	NO	-9,84	NO
Gehölze	*4,65*	-1,71	0	-13,59	8,8	0	0	0	26,52		46,42	0	NO	-6,92	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	*-41,77*	-48,13	-46,42	-60,01	-37,62	-46,42	-46,42	-46,42	-19,9	-46,42		0	NO	-12,02	NO
Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		NO	0	NO
Torfabbau	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	*30,73*	24,37	26,08	12,49	34,88	26,08	26,08	26,08	52,6	26,08	72,5	0	NO		NO
Sonstiges Land	*11,94*	5,58	7,29	-6,3	16,09	7,29	7,29	7,29	33,81	7,29	53,71	0	NO	-6,12	

Kursive Werte: von Jahr zu Jahr veränderlich

negativ: Kohlenstoffverluste; positiv: Kohlenstoffsequestrierung; NO: nicht vorkommend

#: einmalig nur im Jahr der Landnutzungsänderung

Für die Berücksichtigung der 20-jährigen Übergangszeit wird die für die jeweilige Übergangskategorie ermittelte gesamte Vorratsänderung (EF_ann, siehe Tabelle 336) durch 20 dividiert. So erhält man die impliziten Emissionsfaktoren für die Übergangskategorien für Landnutzungsänderungen aus einer Verbleibkategorie heraus (IEF_20y, siehe Tabelle 337). Im Falle von Landnutzungsänderungen von und zu Wald muss, aufgrund des sich jährlich ändernden Kohlenstoffvorrates in den mineralischen Waldböden, für jedes Berichtsjahr ein sich

jährlich ändernder impliziter Emissionsfaktor (IEF) aus der Mineralbodenkohlenstoffvorratsänderung ΔC_i für jede Übergangskategorie hergeleitet werden. Diese ergibt sich aus:

$$\Delta C_i = \begin{cases} \frac{(C_{final,i} - C_{initial,i})}{20}, i = 0 \\ \frac{(C_{final,i} + 0{,}41t - C_{initial,i})}{(20 - i)}, i > 0 \end{cases}$$

ΔC_i: Veränderung des Kohlenstoffvorrates von Mineralböden im Jahr i nach einer Landnutzungsänderung [t C a-1]

$C_{final,\ i}$: Finaler Bodenkohlenstoffvorrat der Zielkategorie im Jahr i nach Landnutzungsänderung [t C]

$C_{initial,\ i}$: Aktueller Bodenkohlenstoffvorrat der Ausgangskategorie [t C] im Jahr i nach Landnutzungsänderung

i: Jahr nach Landnutzungsänderung (0 - 19)

Der jeweils neue aktuelle Bodenkohlenstoffvorrat ergibt sich dann aus der Summe des aktuellen Kohlenstoffvorrats im Boden der Ausgangsnutzung und der berechneten Vorratsänderung (ΔC_i + $C_{initial,\ i}$). Da der Kohlenstoffvorrat in Mineralböden unter Wald derzeit eine jährliche Änderungsrate von 0,41 t C ha^{-1} a^{-1} aufweist, muss diese dem Zielvorrat jährlich zugeschlagen werden.

Von Landnutzung betroffene Flächen verbleiben längstens 20 Jahre in einer Übergangskategorie. Dann haben sie den Kohlenstoffvorrat der Zielkategorie erreicht und werden in die entsprechende Verbleibkategorie überführt. Die Einführung der effektiven Übergangszeit bedingt, dass eine von Landnutzungsänderung betroffene Fläche unmittelbar zum Zeitpunkt der jeweiligen Nutzungsänderung in die neue, entsprechende Übergangskategorie überführt wird, unabhängig davon, wie lange sie schon in einer Übergangskategorie geführt wurde. Da die Kohlenstoffvorratsänderung nach o.a. Gleichung vom Ausgangs- und Zielvorrat abhängig ist, muss der Kohlenstoffvorrat von Mineralböden deshalb an allen Punkten, zu jeder Zeit verfolgt und festgehalten werden. Während der Zielvorrat (C_{final}) vorgegeben ist, mit Ausnahme der Waldböden nach diesem Modell eine fixe Größe darstellt, ist der Ausgangsvorrat variabel und stellt den Wert dar, der bis zur erneuten Landnutzungsänderung in der vorhergehenden Übergangskategorie erreicht wurde. Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderung erfolgt auch für vorzeitig aus Übergangskategorien scheidenden Flächen nach den o.a. Algorithmen, wobei $C_{initial}$ dann der aktuelle, bis zur erneuten Landnutzungsänderung in der vorhergehenden Übergangskategorie erreichte Kohlenstoffvorrat im Mineralboden am Detektionspunkt ist. Die so berechnete Kohlenstoffvorratsänderung wird wiederum auf 20 Jahre verteilt: $\Delta C/20$ ergibt somit die jährliche Änderungsrate, die dem aktuellen initialen Bodenkohlenstoffvorrat dann bis zu einer erneuten Landnutzungsänderung bzw. dem Übergang in die Verbleibkategorie zugeschlagen wird. Die impliziten Emissionsfaktoren sind letztlich das Mittel aller IEF_20y einer Übergangskategorie in einem Berichtsjahr. Tabelle 337 zeigt diese Werte für das Jahr 2020. Die dort dargestellten Werte entsprechen folglich nicht dem Quotienten der in Tabelle 336 dargestellten Bodenkohlenstoffvorratsunterschiede dividiert durch 20.

Tabelle 337: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Ermittlung jährlicher Kohlenstoffvorratsunterschiede in Mineralböden Deutschlands nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020

Initial\Final	Emissionsfaktoren$_{Mineralböden}$ [t C ha^{-1} a^{-1}] für das Jahr 2020														
	Wald	Acker$_{annuell}$	Hopfen	Weinanbau	Obstanbau	Baumschulen	Weihnachtsbaum-kulturen	Kurzumtriebs-plantagen	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen	Sonstiges Land
Wald	0,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,361	0	NO	-0,385	NO
Acker$_{annuell}$	0,391		0,001	-0,56	0,46	0,035	0,032	0,28	1,325	0,050	2,324	0	NO	-0,198	NO
Hopfen	0,376	-0,089		0	0,395	0	0	0	1,303	0	0	0	NO	-0,402	NO
Weinanbau	1,055	0,533	0,679		0,936	0,615	0,679	0,679	1,944	0,649	0	0	NO	-0,197	NO
Obstanbau	-0,064	-0,445	-0,415	-1,072		-0,352	-0,411	-0,369	0,898	-0,415	0	0	NO	-0,205	NO
Baumschulen	0,376	-0,093	0	-0,679	0,437		0	0	1,302	-0,036	0	0	NO	-0,583	NO
Weihnachtsbaum kulturen	0,376	-0,087	0,010	-0,676	0,425	0		0	1,289	-0,010	0	0	NO	-0,629	NO
Kurzumtriebsplantagen	0	-0,113	0	0	0,432	0	0		1,135	-0,032	0	0	NO	-0,748	NO
Grünland i.e.S.	-0,469	-1,163	-0,901	-1,350	-0,575	-0,991	-1,046	-1,035		-1,052	1,063	0	NO	-0,431	NO
Gehölze	0,346	-0,097	-0,009	-0,556	0,365	0	-0,077	-0,063	1,263		1,940	0	NO	-0,474	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	-1,862	-1,54	0	-1,436	-1,881	-2,241	0	0	-0,746	-1,985		0	NO	-0,754	NO
Gewässer	0	-0,076	0	-0,679	-0,089	-0,41	0	0	0,257	-0,021	0,266		NO	0	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	1,586	1,182	1,210	0,735	1,718	1,249	1,299	1,255	2,498	1,216	3,405	0	NO		NO
Sonstiges Land	0,726	0,279	0	-0,315	0	0	0	0	1,69	0,365	2,686	0	NO	0	

negativ: Kohlenstoffverluste; positiv: Kohlenstoffsequestrierung; NO: nicht vorkommend

6.1.2.1.2 Datengrundlage und Verfahren

Grundlage zur Ermittlung der flächendeckend repräsentativen durchschnittlichen Kohlenstoffvorräte in Mineralböden, in Abhängigkeit von der Landnutzung, bilden folgende Datenquellen:

- Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000; BGR 1995 & 1997, Düwel et al. (2007))
- Schätzprofile der BÜK 1000 n 2.3; FISBo BGR (BGR (2011))
- „Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands – Bericht über länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR“ (Düwel et al., 2007)
- Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE I und BZE II; Wellbrock et al. (2016))
- Ergebnisse der Bodenzustandserhebung auf landwirtschaftlichen Böden in Deutschland (BZE-LW; Jacobs et al. (2018)
- Datensätze des Basis-Digitalen Landschaftsmodells (B-DLM) des Amtlichen Topographisch- Kartographischen InformationsSystems (ATKIS®) der Jahre 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 (AdV 2000; 2005; 2010; 2015; 2020)
- IPCC-Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006a)

Der Ermittlung der Emissionsfaktoren für die einzelnen Landnutzungskategorien wurde ein Rückfallsystem zugrunde gelegt. Das bedeutet:

- Liegen spezifisch erhobene Bodendaten für eine Landnutzungskategorie vor (BZE II-Daten oder BZE-LW –Daten), so werden diese zur Bestimmung der Bodenkohlenstoffvorräte in der entsprechenden Kategorie herangezogen.

- Existieren solche Daten nicht, liegen der Bestimmung die Schätzwerte der BÜK 1000 zugrunde.

Aufgrund der unterschiedlichen Datenlage für die einzelnen Landnutzungskategorien wurden die flächengewichteten, nutzungs- und bodenspezifischen Mineralbodenkohlenstoffvorräte für unterschiedliche Landnutzungskategorien getrennt bestimmt. Die Werte für den Wald entstammen den Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE I und BZE II; Wellbrock et al. (2016)), die für $Ackerland_{annuell}$, Hopfen, Obst, Wein, Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen sowie für die Kategorien Grünland, Gehölze und Terrestrische Feuchtgebiete der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Die Mineralbodenkohlenstoffvorräte für Siedlungsböden wurden aus den Ergebnissen dieser Bodenzustandserhebungen abgeleitet (Kapitel 6.1.2.1.6). Lediglich die Kohlenstoffvorräte in Mineralböden der Landnutzungskategorie Sonstiges Land mussten aus der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 (BGR, 1997) abgeleitet werden.

In dieser Bodenkarte werden die Böden Deutschlands in 71 bodenkundlich charakterisierten Legendeneinheiten zusammengefasst. Diese sogenannten Leitbodenassoziationen (LBA) sind durch Leit- und Begleitbodentypen gekennzeichnet und werden durch einen flächenrepräsentativen Leitboden charakterisiert, dem ein ausgewähltes Bodenprofil zugewiesen ist. Diese Profilbeschreibungen enthalten neben deskriptiven Parametern auch Angaben zu Bodeneigenschaften, wie Humus- und Stickstoffgehalten sowie bodenphysikalischen Kennwerten. Der den vorliegenden Berechnungen zugrunde liegende Datensatz enthält u.a. abgeleitete Lagemaße für Kohlenstoff (C_t), anorganischen Kohlenstoff (C_i), Stickstoff (N_t), Steingehalt und die $Rohdichte_{trocken}$, sowie die Spannweite dieser Werte durch Klassenangaben nach KA 4 (Finnern, 1994).

Der mittlere Kohlenstoffvorrat einer LBA kann aus diesen Daten durch Multiplikation des Kohlenstoffgehaltes mit der Masse des Bodens, korrigiert um Skelett- und Carbonatgehalt, berechnet werden. Zur Bestimmung der mittleren Kohlenstoffvorräte in den Mineralböden der Kategorie Sonstiges Land wurde die BÜK 1000 mit dem Basis-DLM (Kapitel 6.3.2.1) verschnitten. Die nutzungsspezifischen Flächendaten und die Bodeneigenschaften der BÜK 1000 (Trockenrohdichte, Skelettgehalt) wurden mit den Gehalten an organischem Kohlenstoff der BGR-Studie „Gehalte organischer Substanz in Oberböden Deutschlands: Länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR“ (Düwel et al., 2007) kombiniert.

Düwel et al. (2007) weisen typische Gehalte an organischer Substanz (C_{org}) bzw. Humus in Oberböden Deutschlands für 15 Bodenausgangsgesteinsgruppen und 4 Klimazonen aus. Grundlage hierfür bildete die flächendeckende Auswertung der Daten von ca. 14.000 Profilen, in Abhängigkeit von der Nutzung (Acker, Grünland und Wald) und nach Klimaregion.

Zudem werden die 71 Legendeneinheiten der BÜK nach ihren pedo-lithologischen Merkmalen diesen 15 Bodenausgangsgesteinsgruppen zugewiesen (Düwel et al., 2007), so dass diese die Verbindung zu den Angaben der Legendeneinheiten der BÜK 1000 bilden.

6.1.2.1.3 Wald

Allen Flächen, die durch die Bundeswaldinventur als Wald deklariert wurden (im Sinne der Definition nach Bundeswaldgesetz) bzw. unter die von Deutschland gewählte IPCC-Definition für Wald fallen, wurde der mittlere Kohlenstoffvorrat im Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe zugeordnet, der mittels der Bodenzustandserhebungen (BZE) ermittelt wurde.

Nach Abschluss der Arbeiten konnten den LULUCF-Inventarberechnungen ab der Submission 2013 die Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen (BZE) bezüglich des Bodenkohlenstoffvorrats sowie dessen Veränderungsrate zugrunde gelegt werden. Der im

Rahmen dieser Erhebung ermittelte mittlere Kohlenstoffvorrat für Mineralböden, bis 30 cm Tiefe, beträgt 61,8 ± 3,7 t ha^{-1} für das Jahr 2006. Die mittlere jährliche Veränderungsrate, die für den Zeitraum zwischen den jeweiligen Erhebungen bestimmt wurde, beträgt 0,41 ± 0,11 t ha^{-1} a^{-1} (vergl. Kapitel 6.4.2.5). Um den Kohlenstoffvorrat der mineralischen Forstböden für die unterschiedlichen Berichtsjahre zu ermitteln, wurde die mittlere Veränderungsrate dem für das Jahr 2006 ermittelten durchschnittlichen Mineralbodenkohlenstoffvorrat aller Forstböden Deutschlands zu- bzw. abgeschlagen, so dass sich für den Berichtszeitraum seit 1990 folgende Zeitreihe ergibt (Tabelle 338):

Tabelle 338: Mittlerer Kohlenstoffvorrat [bis 30 cm Bodentiefe in t C ha^{-1} ± 1,96 * Standardfehler] in den mineralischen Waldböden

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
$C_{Vorrat_Waldboden}$ [tC ha-1]	55,24 ± 6,44	57,29 ± 6,68	59,34 ± 6,92	61,39 ± 7,16	63,44 ± 7,40	65,49 ±7,64	65,90 ±7,69	66,31 ±7,73	66,72±7,78	67,13 ± 7,83	67,54 ± 7,88

Diese Werte bilden für das jeweilige Jahr die Grundlage für alle Berechnungen im Rahmen der Inventarerstellung.

6.1.2.1.4 Ackerland

Die Kohlenstoffvorräte von Mineralböden für Ackerflächen mit annuellen Kulturen, für Hopfen-, Wein- und Obstanbauflächen sowie für Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen, wurden aus den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft abgeleitet (Jacobs et al., 2018). Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft ist eine Stichprobeninventur mit systematischer Stichprobenverteilung. Flächendeckend wurden in einem Raster von 8 x 8 km systematisch alle landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands bis 1 m Bodentiefe beschrieben, beprobt und analysiert. Die Ergebnisse der BZE sind repräsentativ sowohl für die Verteilung bodenkundlicher Charakteristika und Kennwerte, als auch für die aktuelle landwirtschaftliche Landnutzung Deutschlands. Die Werte der mittleren Kohlenstoffvorräte für Mineralböden der einzelnen Ackerlandsubkategorien sind in Tabelle 339 dargestellt.

Tabelle 339: Mittlerer flächenbezogener Mineralbodenkohlenstoffvorrat bis 30 cm Bodentiefe [t C ha^{-1} $30cm^{-1}$] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke in %) für Ackerflächen mit annuellen Kulturen

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]	Unsicherheit [%]
$Ackerland_{annuell}$	61,18	1,23
Hopfenanbauflächen	62,89	7,84
Weinanbauflächen	49,30	11,36
Obstanbauflächen	71,69	8,87
Baumschulen	62,89	7,84
Weihnachtsbaumkulturen	62,89	7,84
Kurzumtriebsplantagen	62,89	7,84

Die im Rahmen der BZE-LW untersuchte Anzahl an Bodenprofilen auf Standorten mit Hopfenanbau, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen war zu gering, um für diese Kulturen spezifische mittlere Mineralbodenkohlenstoffvorräte ableiten zu können. Statistisch signifikante Unterschiede konnten für diese Subkategorien folglich nicht ausgewiesen werden. Daher wird für diese Flächen das Mittel aller Sonderkulturflächen Deutschlands als Wert unterstellt. Nichtsdestotrotz werden die Hopfenanbau-, Baumschul-, Weihnachtsbaumkultur- und Kurzumtriebplantagenflächen extra ausgewiesen.

Für die Wein- und Obstanbauflächen konnten aufgrund der Häufigkeit spezifische Mineralbodenkohlenstoffvorräte ausgewiesen werden, die sich signifikant von allen anderen

Sonderkulturen und untereinander unterscheiden. Die beiden Hauptobstanbaugebiete Deutschlands liegen im Norden (bei Hamburg, sog. „Altes Land“) und im äußersten Süden (Bodenseeregion), in unterschiedlichen Klimazonen. Nichtsdestotrotz konnte kein signifikanter, klimabedingter Unterschied auf die Kohlenstoffvorräte der Standortregionen nachgewiesen werden, so dass bundesweit ein einheitlicher Wert für Obstanbauflächen zur Anwendung kommt. Die Weinanbaugebiete Deutschlands befinden sich alle in derselben Klimazone, weshalb sich eine weitere Stratifizierung der Böden hinsichtlich des Klimaeinflusses erübrigt.

6.1.2.1.5 Grünland

Die Landnutzungskategorie Grünland setzt sich aus den Subkategorien „Grünland im engeren Sinne“ und „Gehölze“ zusammen (vergl. Kapitel 6.2.3). Die mittleren Kohlenstoffvorräte entstammen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Für Grünlandböden wurde das Mittel aller erfassten und ausgewiesenen Dauergrünlandstandorte zugrunde gelegt, für die Subkategorie Gehölze der Mittelwert aller perennierenden Ackerlandkulturen. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 340 dargestellt.

Tabelle 340: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und dessen Unsicherheiten (%) für Grünland- und Gehölzflächen bis 30 cm Bodentiefe

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]	Unsicherheit [%]
Grünland i. e. S.	89,41	2,20
Gehölze	62,89	7,84

6.1.2.1.6 Siedlungen

Emissionen infolge aktiver Baumaßnahmen

Im Falle einer Landnutzungsänderung hin zu Siedlungen, wird der zu berichtende humose Oberboden (30 cm Bodentiefe) auf der betroffenen Fläche vollständig abgetragen. Nach der deutschen Gesetzgebung ist der Mutterboden jedoch besonders zu schützen (§ 202 BauGB (2015)) und muss im Falle von Baumaßnahmen unvermischt, geschützt und konservierend gelagert, im Falle einer Versiegelung lateral, unkontaminiert und unvermischt verbracht werden (Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 1998; KrWG, 2012); sowie 16 Landesbauordnungen). So wird der Bodenanteil der versiegelten Fläche i.d.R. auf den unversiegelten Flächen aufgetragen (nach Möglichkeit auf dem Baugrundstück oder Nachbarflächen), so dass kein oder nur wenig Kohlenstoff verloren geht. Es findet lediglich eine laterale Translokation statt. Die Gesamtbilanz bezüglich des Kohlenstoffs bleibt nahezu gleich. Die IPCC Guidelines 2006 sehen diesen Fall ausdrücklich vor; es ist gute Praxis, die potentiellen Kohlenstoffverluste um den Anteil des lateral verbrachten Bodens zu reduzieren (IPCC (2006a), Kapitel 8.3.3.1). Nichtsdestotrotz wird der Boden auf den betreffenden Flächen gestört (ausgebaggert, transportiert, wieder ausgebracht; u.U. mehrere Monate sachgerecht auf Halde gelagert), wodurch die Struktur gestört und der Boden verstärkt belüftet wird; zumindest kurzfristig. Dadurch wird i.d.R. eine verstärkte Umsetzung organischer Bodensubstanzen durch Mikroorganismen initialisiert. Die so freigesetzten Mengen an CO_2 müssen erfasst und in der Bilanz veranschlagt werden. Die Quantifizierung dieser Kohlenstoffverluste erfolgt auf Basis nachstehender Annahmen und Unterstellungen:

- Es liegen keine spezifisch erhobenen wissenschaftlichen Daten über infolge von Baumaßnahmen verursachte Kohlenstoffverluste der organischen Substanz von Oberböden vor; daher müssen diese geschätzt werden. Für die Schätzung dieses Anteils werden Response-Funktionen herangezogen, die die Kohlenstoffverluste der organischen Substanz von Mineralböden durch Umnutzung von Grünland bzw. Wald zu Ackerland beschreiben (Poeplau et al., 2011). Infolge derartiger Landnutzungsänderungen kommt es ebenfalls zu massiven, anhaltenden Störungen des Oberbodens und einer verstärkten Belüftung desselben.

Response-Funktionen (Poeplau et al., 2011) (s. Abbildung 52)

Grünland zu Ackerland: $\Delta C_{SOC}_Ini_prev = 36{,}11*[1-\exp(-t/2{,}74)]$

Wald zu Ackerland: $\Delta C_{SOC}_Ini_prev = 32{,}19*[1-\exp(-t/5{,}15)]$

$\Delta C_{SOC}_Ini_prev$: Relative Kohlenstoffvorratsänderung [%]

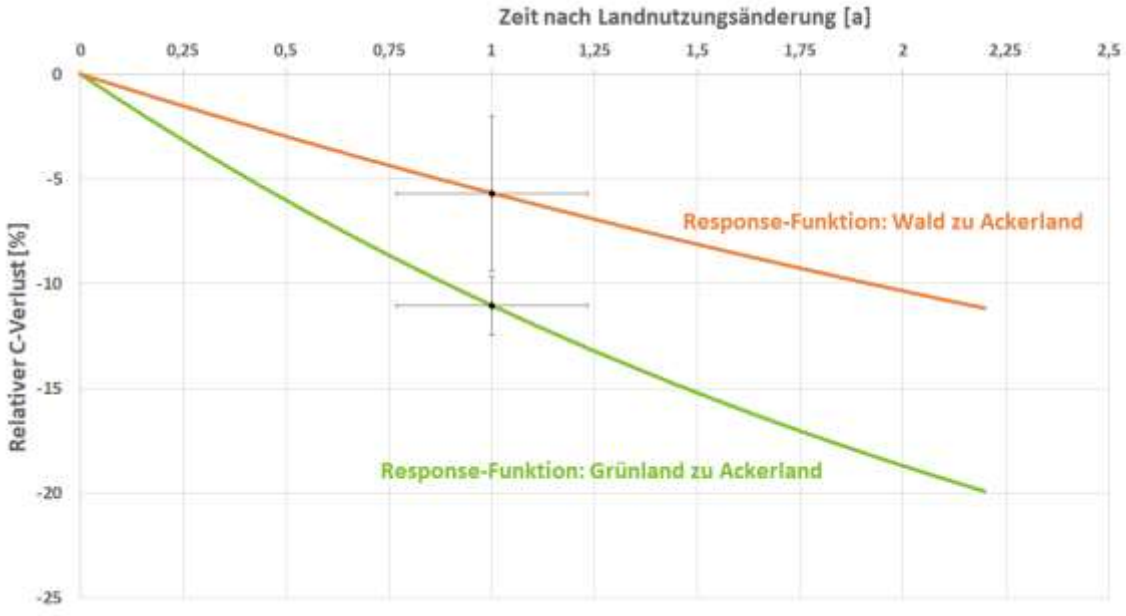
t: Zeit nach Störung [a]

- Die Bauzeiten in Deutschland betragen i.d.R., je nach Vorhaben, 6 – 25 Monate (Schulz, 2012). Mittels statistischer Daten – Mittelwerte der Zeitreihen der Anzahl entsprechender vollzogener Baufertigstellungen seit 2010 (Statistisches Bundesamt, 2020) – konnte für Deutschland ein gewichtetes Mittel für Bauzeiten errechnet werden. Dieser Wert beträgt 11,9 Monate. Konservativ werden 12 Monate angesetzt (t = 1 in den Response-Funktionen).

Setzt man die so berechnete mittlere Bauzeit in die Response-Funktionen ein, ergeben sich gegenüber dem Initialvorrat relative Kohlenstoffverluste von

- Grünland zu Ackerland: -11,0 %
- Wald zu Ackerland: -5,7 %

Abbildung 52: Relativer Kohlenstoffverlust ([%]; Unsicherheiten: 95 % - Konfidenzintervall [%]) humoser Oberbodenhorizonte infolge baubedingter Störungen, abgeleitet aus Response-Funktionen für Grünland bzw. Wald zu Ackerland (Poeplau et al., 2011) bei einer durchschnittlichen Bauzeit von 12 Monaten



Da Landnutzungsänderungen von Grünländern zu Siedlungen vier- bis fünfmal häufiger vorgenommen werden, als Nutzungsänderungen von Wald zu Siedlung, wird, in einem konservativen Ansatz, die Response - Funktion Grünland zu Ackerland herangezogen, um die Kohlenstoffverluste aus humosen Oberbodenhorizonten infolge baubedingter Störungen abzuschätzen. Für eine mittlere Bauzeit von 12 Monaten errechnen sich so Kohlenstoffverluste von -11 ± 1,4 % C (Unsicherheit$_{relativ}$: 12,7 %) (s. Abbildung 52) vom aktuellen Mineralbodenkohlenstoffvorrat der betreffenden Fläche zum Zeitpunkt der Landnutzungsänderung. Die so ermittelten Kohlenstoffverluste werden im Inventar einmalig, nur im Jahr der Landnutzungsänderung, verbucht.

Kohlenstoffvorräte in Siedlungsböden

Fakten und Annahmen

Innerstädtische, unversiegelte Böden zeigen mitunter vergleichbare Kohlenstoffvorräte, wie Wald- und Grünlandböden außerhalb des Siedlungsraumes (Klingenfuß et al. (2020); Cambou et al. (2018); Edelmann (2013); Raciti et al. (2012); Pouyat et al. (2009)). Insbesondere in Hausgärten, Park- und Grünanlagen, Kleingartenkolonien und sonstigen mit Bäumen und Sträuchern bestandenen Flächen weisen Oberböden aber meist Kohlenstoffvorräte auf, die deutlich über denen von Vergleichsböden außerhalb des Siedlungsbereichs liegen, unabhängig von der Nutzung (Klingenfuß et al. (2020); Cambou et al. (2018); Edmondson et al. (2012); Edelmann (2013); Pouyat et al. (2009)). Zurückzuführen ist dieser Umstand auf den Auftrag zusätzlichen humosen Bodens, die schleichende Degradation landwirtschaftlich genutzter Böden (Edmondson et al., 2014) sowie die intensive Bewirtschaftung der innerstädtischen Grünflächen (Input, Bewässerung) (Edmondson et al., 2014); Pouyat et al. (2009)). Vasenev et al. (2013)wiesen diesen Umstand in Stadtböden der Großregion Moskau für Kohlenstoffkonzentrationen in Oberböden, besonders aber auch in Unterbodenhorizonten nach. Sie bezeichnen diese Horizonte als „cultural layers“, da diese insbesondere durch das

menschliche Wirtschaften überprägt sind. Diese Kohlenstoffvorratsunterschiede zwischen innerstädtischen und angrenzenden außerstädtischen Böden wurden in allen o.a. Studien quantifiziert. Nichtsdestotrotz können aus diesen Daten keine allgemein gültigen, relativen Veränderungsraten abgeleitet werden, die eine Abschätzung des Kohlenstoffvorrates von unversiegelten Siedlungsböden (nach Landnutzungsänderung), ausgehend von den Bodenkohlenstoffvorräten der Vornutzungen, ermöglichen, da

- die Spannweite der Vorratsunterschiede extrem groß ist, in Abhängigkeit von Standortseigenschaften, Landnutzung und Bewirtschaftung: Edmondson et al. (2014) ermittelten für Böden innerstädtischer Grünflächen der Stadt Leicester (England) 21 – 89 % höhere Kohlenstoffvorräte als im angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Grünland (86 t ha^{-1} 21 cm^{-1}; Ackerland: 73 t ha^{-1} 21 cm^{-1}). Cambou et al. (2018) zeigen für Paris, dass die Kohlenstoffvorratsunterschiede innerstädtischer Böden, nutzungsabhängig (Parkanlagen > Gärten ≥ Gehölzflächen) gegenüber Vergleichsböden der Region (Wald > Landwirtschaftsflächen) 30 – 110 % betragen.
- der Trend bezüglich der Nutzungsformen nicht einheitlich ist (Klingenfuß et al., 2020)

Aus diesen Gründen wird in einem konservativen Ansatz unterstellt, dass unversiegelte, innerstädtische Böden Kohlenstoffvorräte aufweisen, die denen der Böden entsprechen, aus denen sie sich nach einer Landnutzungsänderung entwickeln.

Des Weiteren wird angenommen, dass der Bereich, der von Gebäuden bestanden ist, beim Bau tiefgründig ausgekoffert wurde und somit keinen Kohlenstoff bzw. in absolut zu vernachlässigenden Mengen enthält. Der humose Oberboden dieser Flächen wird, gemäß der Gesetzeslage, lateral auf dem Baugrundstück und Nachbarflächen verbracht. Dies führt dazu, dass Verluste an Bodenkohlenstoff infolge baubedingter Störungen des Oberbodens auf den unversiegelten Flächen vollständig ausgeglichen werden. Sie entsprechen letztlich dem SOC-Vorrat des Mineralbodens unter der Vornutzung, der zum Zeitpunkt der Landnutzungsänderung für den betroffenen Punkt aktuell dokumentiert ist ($SOCI_{ni_prev}$).

Cambou et al. (2018), Edmondson et al. (2012), Wei et al. (2014), Edelmann (2013) und Raciti et al. (2012) zeigen, dass erhebliche Mengen an Bodenkohlenstoff unter versiegelten, nicht mit Gebäuden bestandenen Flächen zu finden sind. Nichtsdestotrotz weisen die Autoren für derartig versiegelte Flächen, im Vergleich zu unversiegelten Nachbarflächen, geringere Bodenkohlenstoffvorräte nach; je nach Studie sind diese zwischen 54 % - 74 % (Unsicherheiten 15 – 83 %) geringer, bei einem Mittelwert von -65 % (Unsicherheit 93 %), einem Median von -66 %. Aufgrund dieser Studien wird für das deutsche Inventar konservativ angenommen, dass unter versiegelten, nicht mit Gebäuden bestandenen Flächen, i.d.R. Verkehrsflächen, der Kohlenstoffvorrat 1/3 des Ausgangsvorrates (SOC_{Ini_prev}) beträgt.

Abschätzung der Emissionen aus Mineralböden bei Landnutzungsänderungen zu Siedlung

Das Vorgehen erfolgt gemäß den Annahmen und Ausführungen in den o.a. Abschnitten des Kapitels:

- Vom SOC_{Ini_prev} werden pauschal 11 % des Kohlenstoffvorrates abgezogen und einmalig im Jahr der Landnutzungsänderung als Emission ausgewiesen: $Emission_{LUC_Siedlung} = SOC_{Ini_prev} * -0{,}11$
- SOC_{Ini_prev} ist ebenfalls der Ausgangswert zur Abschätzung des mineralischen Bodenkohlenstoffvorrates für die von der Landnutzungsänderung betroffenen Fläche. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 18, die den oben aufgeführten Unterstellungen Rechnung trägt.

Gleichung 18:

$$SOC_{min_set} = SOC_{Ini_prev} * (AF_{unversiegelt} * CF_{unversiegelt} + AF_{Verkehr} * CF_{Verkehr} + AF_{Gebäude} * CF_{Gebäude})$$

SOC_{min_set}: Organischer Mineralbodenkohlenstoffvorrat einer Siedlungsfläche nach Landnutzungsänderung [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]
SOC_{Ini_prev}: Organischer Kohlenstoffvorrat des Mineralbodens der Vornutzung zum Zeitpunkt der Landnutzungsänderung [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]
$AF_{unversiegelt}$: Flächenfaktor = 0,5; 50 % unversiegelte Fläche
$CF_{unversiegelt}$: Kohlenstofffaktor unversiegelte Fläche = 1; 100 % SOC_{Ini_prev}
$AF_{Verkehr}$: Flächenfaktor = 0,175; 17,5 % Verkehrsflächenversiegelt
$CF_{Verkehr}$: Kohlenstofffaktor Verkehrsflächeversiegelt = 0,333; 33,3 % SOC_{Ini_prev}
$AF_{Gebäude}$: Flächenfaktor = 0,325; 32,5 % Gebäudeflächeversiegelt
$CF_{Gebäude}$: Kohlenstofffaktor Gebäudeflächeversiegelt = 0; 0 % SOC_{Ini_prev}

Der so ermittelte Vorrat wird allen weiteren Berechnungen mit Stadtböden an diesem Punkte zugrunde gelegt. Er wird im Jahr der Landnutzungsänderung, ohne Übergangszeit, direkt dem Punkt zugewiesen. Abgesehen von den durch die Baustörung hervorgerufenen Emissionen fallen keine weiteren Verluste aus Mineralböden an, da der ausgekofferte Boden lateral ausgebracht wird.

Für alle Siedlungsflächen, deren Vornutzung nicht bekannt ist (das sind alle Flächen, die vor und seit dem Jahr 1990 in der Verbleibkategorie geführt werden), wird für die Mineralböden ein mittlerer flächen- und vornutzungsgewichteter Kohlenstoffvorrat zugrunde gelegt. Dafür wurde für jede Übergangskategorie der Mittelwert des Anteils an der gesamten Landnutzungsänderung zu Siedlung für den Zeitraum von 1990 – 2018 ermittelt. Dieser Anteil wurde mit dem für die entsprechende Landnutzungskategorie typischen Bodenkohlenstoffvorrat multipliziert. Die Summe dieser Werte ergibt dann den SOC_{Ini_prev} für Mineralböden auf Siedlungsflächen; er beträgt 69,6 t C ha^{-1} 30 cm^{-1}(± 3,9 %) (Tabelle 341). Zur Abschätzung des tatsächlichen flächenbezogenen Vorrates kommt Gleichung 18 zur Anwendung. Die Unsicherheit der Abschätzung der Flächenzuteilung wird mit 10 % angenommen. So ergibt sich für die Siedlungsflächen, deren Vornutzung nicht bekannt ist, ein Kohlenstoffvorrat von 38,8 t C ha^{-1} 30 cm^{-1}(± 13,7 %) (Tabelle 341). Der so ermittelte Vorrat wird allen weiteren Berechnungen mit Stadtböden an diesen Punkten zugrunde gelegt. Dieser Wert zeigt sich gegenüber dem Vorjahr um 5,5 % verändert. Aufgrund einer falschen Unterstellung bezüglich der Fläche, mussten die Werte für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat in Mineralböden der Verbleibkategorie Siedlungen gegenüber der Vorjahressubmission korrigiert werden; von 36,8 t C ha^{-1} auf 38,8 t C ha^{-1} bzw. 3,3 t N ha^{-1} auf 3,4 t N ha^{-1}.

Tabelle 341: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoff- [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und Stickstoffvorrat [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}] von Mineralböden auf Siedlungsflächen ohne ($SOC_{Ini_prev_1990}$ bzw. $N_{Ini_prev_1990}$) und mit Versiegelungskorrektur ($SOC_{min_set_1990}$ bzw. $N_{min_set_1990}$) und deren Unsicherheiten [%]

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]	Unsicherheit [%]
$SOC_{Ini_prev_1990}$	69,6	3,9
SOC_{min_set_1990}	38,8	13,7
Mineralboden	**Stickstoffvorrat [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}]**	**Unsicherheit [%]**
$N_{Ini_prev_1990}$	6,2	3,7
$N_{min_set_1990}$	3,4	13,7

Abschätzung der Emissionen aus Mineralböden bei Landnutzungsänderungen von Siedlung

Das Vorgehen im Falle von Landnutzungsänderungen von Siedlungsflächen zu anderen Landnutzungskategorien folgt der allgemeinen Methodik (Kapitel 6.1.2.1). Ausgangspunkt der Berechnung ist der jeweils für den betroffenen Punkt aktuell dokumentierte SOC-Vorrat. Es gilt die effektive, maximal 20-jährige Übergangszeit.

6.1.2.1.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Sonstiges Land

Die Ableitung der mittleren Kohlenstoffgehalte für Mineralböden in Terrestrischen Feuchtgebieten (für Gewässerflächen werden keine Bodenkohlenstoffvorräte ausgewiesen; Torfabbauflächen finden sich ausschließlich auf organischen Böden) erfolgte auf Grundlage des Basis-Digitalen Landschaftsmodells (B-DLM; ATKIS®), der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000; BGR (1995);BGR (1997)) sowie der Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW; Jacobs et al. (2018)). Hierfür wurden die im B-DLM ausgewiesenen nassen Flächen (Grundwasserflurabstand < 10 cm), die keine organischen Böden enthalten, mit den Leitbodenassoziationen der BÜK 1000 (vergl. Kapitel 6.1.2.1.2) verschnitten. Den so für die einzelnen Leitbodenassoziationen ermittelten Flächenanteilen an nassen Böden wurden dann die für diese Flächen in der BZE-LW erhobenen Bodenkohlenstoffvorräte für Grünland zugeordnet. So konnte für jede betroffene Leitbodenassoziation ein spezifischer Kohlenstoffvorrat für nasse Mineralböden abgeleitet werden. Aus diesen wurde ein flächengewichteter mittlerer Bodenkohlenstoffvorrat für Mineralböden in Terrestrischen Feuchtgebieten Deutschlands berechnet (Tabelle 342).

Tabelle 342: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] und dessen Unsicherheiten (%) in Mineralböden von Terrestrischen Feuchtgebieten bis 30 cm Bodentiefe

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]	Unsicherheit [%]
Terrestrische Feuchtgebiete	109,31	8,50

Zur Ermittlung der mittleren Kohlenstoffvorräte von Mineralböden auf Sonstigem Land, konnte nicht auf Bodeninventuren zurückgegriffen werden. Diese Werte wurden aus der einzigen flächendeckend verfügbaren Bodenkarte für Deutschland BÜK 1000 (BGR 1997) , der Karte der Bodenausgangsgesteine Deutschlands (BAG 5000 BGR (2008)), der BGR-Studie „Gehalte organischer Substanz in Oberböden Deutschlands: Länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR“ (Düwel et al., 2007) und den in diesen hinterlegten bodenkundlichen Kennwerten abgeleitet (Kapitel 6.1.2.1.2).

Die der BÜK 1000 zugrunde liegende Datenbank weist keine Leitprofile für Böden auf sonstigem Land aus, lediglich für Wald-, Acker- und Grünlandstandorte; aber auch für diese Nutzungen liegen nicht für alle Leitbodenassoziationen Leitprofile vor. Daher wurden als stellvertretende Leitprofile, für Böden unter sonstigem Land, die Profile der Grünlandstandorte herangezogen.

Für die Leitbodenassoziationen, für die keine Grünlandleitprofile mit bodenkundlichen Kennwerten vorlagen, wurde auf die Horizontierung der Waldbodenprofile zurückgegriffen, da Böden unter sonstigem Land häufig im Initialstadium sind und im Oberboden nicht so tief entwickelte A-Horizonte aufweisen, wie landwirtschaftlich bewirtschaftetes Grün- oder Ackerland. Diese Vorgehensweise führte bei 42 der 71 Leitbodenprofile zu veränderten, i.d.R. geringeren, Kohlenstoffvorräten, verglichen mit dem Grünland. Zusätzlich hat die räumliche Verteilung von sonstigem Land in der Bodenlandschaft einen deutlichen Einfluss auf die mittleren Kohlenstoffvorräte der Mineralböden, so dass sich die so ermittelten Werte für Sonstiges Land deutlich von denen für Grünland und Wald unterscheiden. Die mittleren Kohlenstoffgehalte sind in Tabelle 343 aufgeführt.

Tabelle 343: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke [%]) in Mineralböden von Sonstigem Land bis 30 cm Bodentiefe

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]	Schranken	
		untere [%]	obere [%]
Sonstige Flächen	55,60	5,08	5,08

Der aus diesen mittleren, nach Klimaregion, Landnutzung und Flächen gewichteten Kohlenstoffvorräten abgeleitete Emissionsfaktor ist in Tabelle 336 und Tabelle 337 in Kapitel 6.1.2.1 dargestellt, die Emissionsfaktoren mit statistischen Kennwerten zur Beschreibung der Unsicherheiten in Tabelle 430 in Kapitel 6.7.3.

6.1.2.1.8 Unsicherheiten

Die Unsicherheiten für die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden in Wäldern sowie deren Veränderungen in der Zeit, wurden mittels statistischer Methoden aus den Messwerten der Bodenzustandserhebung Wald berechnet (Wellbrock et al. (2016); siehe Kapitel 6.4.3.3); die für die Landnutzungskategorien Ackerland$_{annuell}$, Hopfen, Wein , Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen, Grünland, Gehölze und Terrestrische Feuchtgebiete aus den Messwerten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al.).

Falls nicht explizit ausgewiesen, wird immer die Hälfte des 95-% Konfidenzintervalls als Unsicherheit angegeben.

Die Unsicherheit für die Mineralböden der Landnutzungskategorie Sonstiges Land wurden aus der BGR-Studie (Düwel et al., 2007) der BÜK 1000 (BGR 1997) und der KA 4 (Finnern, 1994) abgeleitet.

Die Kohlenstoffgehalte der BGR-Studie sind mit einer deskriptiven Statistik hinterlegt. Aus dieser wurden die Werte für das 25%- bzw. 75%-Perzentil als untere und obere Schwellenwerte für den Kohlenstoffgehalt abgeleitet. Die Werte für die Trockenraumdichte, den Skelettgehalt sowie die Kohlenstoffgehalte der Horizonte, für die keine Werte aus der Oberbodenstudie der BGR (Düwel et al., 2007) vorlagen, wurden nach entsprechenden Klassenangaben aus den Leitprofilbeschreibungen der BÜK 1000 mittels der KA 4 abgeleitet. Da mit Einzelprofilen (Leitprofile der BÜK 1000) keine Aussagen zur Heterogenität der Bodenparameter innerhalb der Legendeneinheiten getroffen werden können, wurde zur Abschätzung der potentiellen Spannweite der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräte der Leitbodenassoziationen (LBA) der BÜK 1000, somit zur Bestimmung der Unsicherheit der LBA, eine jeweilige Extremkonstellation der Klassenwerte konstruiert:

- LBA-Kohlenstoffvorrat$_{maximum}$: C$_{org}$-Gehalt$_{maximum}$, Rohdichte$_{maximum}$, Skelettgehalt$_{minimum}$

- LBA-Kohlenstoffvorrat$_{minimum}$: C_{org}-Gehalt$_{minimum}$, Rohdichte$_{minimum}$, Skelettgehalt$_{maximum}$

Die so ermittelten mini- und maximalen Kohlenstoffvorräte bildeten die obere und untere Schranke und geben im Zusammenhang mit dem Lagemaß die für derartige Daten typische linkssteile Verteilung wieder.

6.1.2.1.9 Geplante Verbesserungen

Die für diese Submission geplante Regionalisierung der Mineralbodenkohlenstoffvorräte, in Abhängigkeit standortkundlicher Parameter, konnte aus technischen Gründen noch nicht implementiert werden; die Einrichtung ist kurzfristig geplant. Deutschland wird damit die entsprechende Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020 umsetzen (ARR 2020: L.8, Table 5).

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.1.2.2 Emissionen aus organischen Böden (3.D; 4.A bis 4.F; CRF-Tabelle 4(II))

Über die CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen aus organischen Böden wird in den Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland i.e.S., Gehölze, terrestrische Feuchtgebiete, industrieller Torfabbau und Siedlungen berichtet (N_2O aus gedränten organischen Böden unter Acker und Grünland in CRF-Sektor 3.D.a.6). Außerdem werden die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben erfasst sowie die Kohlenstoffverluste mit der gelösten organischen Substanz (DOC). In Deutschland wird der Großteil der organischen Böden entwässert.

Die Emissionsberechnung erfolgt durch Multiplikation der Moorflächen pro Subkategorie mit einem nutzungsspezifischen Emissionsfaktor. Bei Landnutzungsänderungen wird sofort der Emissionsfaktor der Zielkategorie verwendet:

$$E_{orgsoil} = \sum_{i=1}^{n} (A_i * EF_i)$$

$E_{orgsoil}$: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen aus organischen Böden einer Landnutzungskategorie [kt C]
A_i: Moorfläche unter bestimmter Landnutzung [kha]
EF_i: Landnutzungsspezifischer Emissionsfaktor [t C ha^{-1} a^{-1}]
i: Übergangs- bzw. Verbleibkategorien
n: Anzahl der Übergangs- bzw. Verbleibkategorien

Dem vorliegenden Inventar liegen sehr detaillierte Karten zur Lage und Drainage der organischen Böden zugrunde (Kapitel 6.1.2.2.1). Ebenso konnten sehr umfangreiche Messdaten von Treibhausgasemissionen aus organischen Böden in Deutschland verwendet werden, die im Verbundprojekt „Organische Böden“ des Thünen-Instituts[93] und Vorgängerprojekten mit standardisierten Messprotokollen erhoben bzw. in geringerem Umfang der nationalen Literatur entnommen wurden.

Gegenüber der Vorjahressubmission wurde die Berechnung der Emissionen aus organischen Böden erneut modifiziert und verbessert. Die Berechnungen erfolgen nun alle in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand für jeden einzelnen der 1.822.109 Detektionspunkte auf organischen Böden. Der Grundwasserflurabstand entstammt einer digitalen, dynamischen

[93] www.organische-boeden.de

Grundwasserkarte, die jährlich aktualisiert wird (s. Kapitel 6.1.2.2.2). Für die CO_2- und CH_4-Emissionen erfolgt die Berechnung der Emissionen anhand von Responsefunktionen in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand individuell für jeden einzelnen Erhebungspunkt (s. Kapitel 6.1.2.2.2). Die Responsefunktionen kommen für alle Landnutzungskategorien außer Wald und Gehölze zur Anwendung. Die Datenbasis und Ableitung der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren entspricht einem IPCC Tier-3-Ansatz. Um Transparenz und Konsistenz mit anderen Aktivitätsdaten, der Abschätzung der N_2O-Emissionen und anderer Pools (DOC, Grabenentwässerung) zu wahren, wurde daraus eine nationale Tier-2-Methodik für das Inventar entwickelt (Tiemeyer et al., 2020b).

Mit der Implementierung dieser Systeme wurde die Empfehlung der EU-Komission umgesetzt, für die Emissionen aus organischen Böden in Deutschland Systeme zu entwickeln, mit denen künftig Veränderungen der Kohlenstoffvorräte von Böden infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen bzw. Kohlenstoffsequestrierung in den Verbleibkategorien 4.B und 4.C bzw. Acker- (CM) und Weidelandbewirtschaftung (GM) erfasst und berichtet werden können ("Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals" (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017), gemäß der EU-Verordnung (EU) 2018/841. Zudem ermöglicht das System die in der EU-Verordnung ab 2026 verbindliche Berichterstattung über Emissionen aus "bewirtschafteten Feuchtgebieten".

6.1.2.2.1 Aktivitätsdaten

Im Auftrag des Thünen-Instituts wurde bis 2013 eine „Karte organischer Böden“ (Parametrisierter Flächendatensatz zu den organischen Böden in Deutschland) neu erstellt, die die IPCC-Definition organischer Böden vollständig abbildet (Roßkopf et al., 2015):

- Räumliche Auflösung / Maßstab: Verfahrensbedingt heterogen, ~1:10.000 – 1:200.000; Rasterweite 25 m.
- Zeitliche Auflösung: regional in Abhängigkeit von der jeweiligen Datengrundlage unterschiedlich (Anfang des 20. Jahrhunderts bis heute).
- Datensätze: in enger Zusammenarbeit mit den Behörden der Bundesländer wurden die vorhandenen Bodendaten, Moorkataster und Datensätze aus geologischen, forstlichen oder landwirtschaftlichen Kartierungen so umfassend und hochauflösend wie möglich einbezogen und harmonisiert.
- Datenselektion (Minimalkriterium): In Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5, Sponagel (2005)) und die Vorgaben für organische Böden gemäß IPCC (2006a) wurden diejenigen Blattlegendeneinheiten digital (vektoriell) vorliegender Ausgangsdaten herangezogen, die überwiegend Böden mit einem Mindestgehalt von 9 % organischem Kohlenstoff (15 % organische Bodensubstanz) in der Mischprobe der oberen 20 cm beschreiben.

Die neue Flächenkulisse organischer Böden umfasst 1,824 Mio ha. Die neue Karte organischer Böden löst die bisher verwendete grobe Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BGR 1995) ab, in der keine flachgründigen oder mit Mineralboden vermischten Torfe enthalten waren (alte Flächenkulisse: 1,725 Mio ha). Durch die sehr viel genauere Lagezuordnung in der neuen Karte organischer Böden haben sich die Flächenanteile der Landnutzungskategorien gegenüber den Submissionen vor 2015 verschoben. Grünland im engen Sinne dominiert die Nutzung bei weitem. Durch die starke Verdichtung des Punkterasters, beginnend mit der Submission 2020 (siehe Kapitel 6.3), können nun kleinräumige Strukturen erfasst und eine sehr genaue Zeitreihe der Landnutzungen und Landnutzungsänderungen auf organischen Böden berichtet werden.

Tabelle 344 zeigt die Flächen organischer Böden nach Landnutzungskategorien. Die regionale Verteilung der Wasserstände in organischen Böden, Grundlage zur Berechnung der Emissionen, wird abgeleitet nach (Bechtold et al., 2014) und beruht u.a. auf der Karte organischer Böden (Roßkopf et al., 2015) und langjährigen Messreihen von Wasserpegeln in organischen Böden.

Die im Landwirtschaftssektor (CRF-Tabelle 3.D.a.6) berichtete Fläche für organische Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung unterscheidet sich nicht von der im LULUCF-Sektor. Die Anbauflächen für Ackerböden sind in den beiden berichtspflichtigen Sektoren identisch. Im LULUCF-Sektor werden die Gebiete der Unterkategorien „Grünland i.e.S." und „Gehölze" unter Grünland subsumiert. Gehölzflächen sind kein Agrarland im engeren Sinn, daher werden sie unter 3.D.a.6 nicht aufgeführt; im LULUCF-Sektor müssen sie für die konsistente Darstellung der gesamten deutschen Fläche jedoch einbezogen werden.

Zur Erfassung der CH_4-Emissionen aus Entwässerungsgräben musste deren Fläche und die angrenzende Landnutzung ermittelt werden. Zu diesem Zwecke wurde um die linearen Elemente des ATKIS-Basis-DLM, die Entwässerungsgräben darstellen, Pufferzonen gebildet, in Abhängigkeit von den Legendenangaben. Unter Bezugnahme auf die Karte organischer Böden (Roßkopf et al., 2015) und das ATKIS-Basis-DLM konnte so die gesamte Fläche der Gräben zur Entwässerung von organischen Böden für alle Landnutzungskategorien ermittelt werden (Tabelle 344).

Tabelle 344: Flächen organischer Böden und der Entwässerungsgräben nach Landnutzungskategorien für das Jahr 2020

	Fläche organischer Böden [ha]	Fläche Entwässerungsgräben [ha]
Wald	278.000	3.164
Ackerland	331.168	3.152
Grünland i.e.S.	951.783	14.887
Gehölze	21.941	437
Terrestrische Feuchtgebiete	108.626	713
Gewässer	22.432	76
Torfabbau	17.720	66
Siedlungen	90.408	1.257
Sonstiges Land	31	0
∑	**1.822.109**	**23.755**

6.1.2.2.2 Emissionsberechnung

Die Emissionsfaktoren wurden entsprechend den Richtlinien im 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) entwickelt. CO_2 aus dem Boden (CO_2-C on-site) und CH_4 aus dem Boden (CH_{4_land}) wurden für alle Landnutzungskategorien außer Wald mittels empirischer Modelle berechnet (Tier 3). Für Waldböden wurden die entsprechenden Emissionsfaktoren dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) entnommen. Für N_2O wurden Emissionsfaktoren aus nationalen jährlichen Messwerten entwickelt (Tier 2). Für CO_2 aus gelöstem organischen Kohlenstoff (CO_2-C_{DOC}) und CH_4 aus Gräben (CH_{4_Ditch}) wurden die Standardwerte aus dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) übernommen.

CO_2 aus dem Boden (CO_2-$C_{on\text{-}site}$):

Die Datengrundlage sind repräsentativ erhobene, qualitätsgeprüfte, nationale jährliche Messwerte (261 Messjahre, 118 Standorte, 17 verschiedene Moorgebiete). Aus diesen Daten haben Tiemeyer et al. (2020b) eine empirische (nichtlineare) Response-Funktion der Emission in Abhängigkeit vom Grundwasserstand abgeleitet. Diese wurde verwendet, um für die Jahre 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 an jedem Punkt auf organischen Böden die Emission zu berechnen. Zwischen diesen Jahren wurde linear interpoliert; vor 2000 wurden die Emissionen des Jahres 2000 übernommen, da die Eingangsdaten für diese Jahre nicht vorhanden sind. Die benötigten Wasserstände wurden mittels des Machine-Learning-Modells aus (Bechtold et al.,

2014) separat für die entsprechenden Jahre berechnet. Da das Modell transformierte Wasserstände vorhersagt, wurde das Gesetz des bewusstlosen Statistikers (law of the unconscious statistician) benutzt, um punktweise Erwartungswerte der Wasserstände und Emissionen zu berechnen. Die Modellunsicherheiten wurden mittels Bootstrapping ermittelt.

Der Response-Funktion aus Tiemeyer et al. (2020b) liegen nur wenige, unsichere Messwerte aus Waldflächen zugrunde. Deshalb wurde für Punkte unter Waldnutzung der Standardemissionsfaktor aus dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) verwendet. Dieser kam auch für die Subkategorie Gehölze zur Anwendung.

CH_4 aus dem Boden (CH_{4_land}):

Die Datengrundlage sind repräsentativ erhobene, qualitätsgeprüfte, nationale jährliche Messwerte (296 Messjahre, 137 Standorte, 17 verschiedene Moorgebiete). Die Emissionsberechnung erfolgte analog zum Vorgehen bei CO_2 auf Basis von Tiemeyer et al. (2020b) und Bechtold et al. (2014). Da die Responsefunktion für Wald auf sehr wenigen Datenpunkten basiert und stark von nur zwei Messwerten bestimmt wird, wurde für Punkte unter Waldnutzung und die Kategorie Gehölze der Standardemissionsfaktor aus dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) verwendet.

N_2O:

Die Datengrundlage sind repräsentativ erhobene, qualitätsgeprüfte, nationale Messwerte, die mindestens ein Jahr umfassen (320 Standorte, 21 verschiedene Moorgebiete). Da keine funktionalen Zusammenhänge identifiziert werden konnten, wurden die Mittelwerte der Messwerte je Landnutzungskategorie als Emissionsfaktor herangezogen (Tiemeyer et al., 2020b).

6.1.2.2.3 Implizite Emissionsfaktoren (IEF)

Im Rahmen der Inventarerstellung werden zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden, für jedes Treibhausgas und jede Landnutzungskategorie spezifische, implizite Emissionsfaktoren verwendet. Die im 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) aufgeführten Emissionsfaktoren gelten für spezifische Zustände organischer Böden. Bei der Ermittlung der Emissionen aus einer Landnutzungskategorie, müssen die nicht drainierten, nassen Flächen jedoch ebenfalls berücksichtigt werden , als auch der Kohlenstoffaustrag mit dem Bodenwasser in Form von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) sowie die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben organischer Böden. Dadurch ergeben sich die in Tabelle 345 dargestellten impliziten Emissionsfaktoren (IEF) für CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus organischen Böden Deutschlands für das Jahr 2019.

Tabelle 345: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) und deren Unsicherheiten (95%-Perzentile) für CO_2-onsite + DOC, CH_{4_land} + CH_{4_ditch} und N_2O-onsite aus organischen Böden Deutschlands (4.A - 4.E; 4(II)) für das Jahr 2020

Landnutzung	CO_2-onsite + DOC		CH_{4_land} + CH_{4_ditch}		N_2O-onsite	
	EF	95%-Perzentile	IEF	95%-Perzentile	IEF	95%-Perzentile
		t CO_2-C ha^{-1} a^{-1}		kg CH_4 ha^{-1} a^{-1}		kg N_2O-N ha^{-1} a^{-1} CH_4
Wald	2,65	(2,1 - 3,3)	4,91	(1,26 - 10,32)	4,33	(-0,88 - 9,43)
$Acker_{annuell}$	9,43	(5,35 - 11,28)	12,94	(5,55 - 24,75)	17,31	(2,81 - 63,17)
Hopfen	8,74	(4,96 - 10,46)	24,73	(10,61 - 47,31)	17,17	(2,78 - 62,64)
Weinanbau	8,56	(4,86 - 10,24)	8,53	(3,66 - 16,31)	17,44	(2,83 - 63,64)
Obstanbau	8,86	(5,03 - 10,6)	20,08	(8,62 - 38,42)	17,25	(2,8 - 62,93)
Baumschulen	9,49	(5,39 - 11,35)	12,59	(5,4 - 24,09)	17,32	(2,81 - 63,18)
Weihnachtsbaumkulturen	9,42	(5,35 - 11,27)	9,06	(3,89 - 17,34)	17,38	(2,82 - 63,41)
Kurzumtriebsplantagen	0,00	(0 - 0)	0,00	(0 - 0)	0,00	(0 - 0)
Grasland i.e.S	7,54	(0,82 - 10,67)	39,63	(15,9 - 214,83)	7,05	(0,46 - 34)
Gehölze	2,64	(2,09 - 3,28)	6,25	(1,95 - 12,88)	4,29	(-0,87 - 9,35)
Terrestrische Feuchtgebiete	5,22	(0,29 - 10,65)	164,60	(3,49 - 373,84)	1,09	(-0,19 - 4,52)
Torfabbau	1,38	(1,25 - 1,54)	5,69	(1,22 - 12,11)	1,41	(0,52 - 2,3)
Siedlung	7,28	(3,44 - 9,19)	26,98	(11,23 - 51,83)	6,04	(0,39 - 29,15)

6.1.2.3 Kohlenstoffemissionen aus der Biomasse (4.A bis 4.F)

6.1.2.3.1 Allgemeines

Im Rahmen der deutschen Inventarerstellung werden Emissionen aus dem Pool ober- und unterirdische pflanzliche Biomasse ausgewiesen für

- die Verbleibkategorien Wald, Hopfen, Wein, Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen, Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Siedlungen
- sämtliche Übergangskategorien

Für die Verbleibkategorien $Acker_{annuell}$ und Grünland i.e.S. werden bei gleichbleibender Kulturart (annuell oder perennierend) keine Kohlenstoffvorratsänderungen ausgewiesen, da gemäß der IPCC-Richtlinien (2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006a)), in diesen Subkategorien ein Gleichgewichtszustand für die Kohlenstoffflüsse des annuellen Biomasse -Pools unterstellt wird. Nach der Gain-Loss Methode ist somit $\Delta C = 0$ (Equation 2.7 in den 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006a)). Die entsprechenden Felder in den CRF-Tabellen werden mit NA gekennzeichnet. Für die Verbleibkategorien Gewässer und Sonstiges Land fallen keine Emissionen aus der pflanzlichen Biomasse an, da die Standorte vegetationslos sind.

Unterschieden nach Kulturart können annuelle Ackerlandkulturen mit dem bestehenden System zur Landnutzungsausweisung derzeit nicht räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen werden. Dies hat zur Folge, dass ein nach Kultur und Anbaufläche gewichteter mittlerer Kohlenstoffvorrat als Mischwert für die Biomasse aller annueller Ackerlandkulturen aus Daten der Offizialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1) abgeleitet werden muss (s. Kapitel 6.1.2.3.3). Dies ist die einzige konsistente (inhaltlich und zeitlich) Datenquelle, die nahezu flächendeckend (mit den Einschränkungen der Offizialstatistik; z.B. Ausschlussgrenzen) eine ertrags- und flächengewichtete Ableitung repräsentativer Kohlenstoffvorräte für krautige Pflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion in Deutschland ermöglicht. Im Falle von Landnutzungsänderungen von und zu annuellem Ackerland bilden diese die Grundlage aller Berechnungen der Emissionen aus der Biomasse.

Erstmalig werden mit dieser Submission die Emissionen aus der Biomasse in dem Jahr ausgewiesen, in dem sie anfallen. Hierzu wurde eine neue Methodik eingeführt, die insbesondere die spezifische Zusammensetzung und Entwicklung der pflanzlichen Biomasse in den einzelnen

Landnutzungskategorien erfasst. Unterteilt in verschiedene Kompartimente werden die Kohlenstoffvorräte der pflanzlichen Biomasse bzw. deren Änderung während deren Lebens- und Bewirtschaftungszyklen fortdauernd modelliert und aufgezeichnet (s. Kapitel 6.1.3.2).

Damit werden entsprechende Empfehlungen/Forderungen aus den UNFCCC-Reviews (ARR 2021: KL.12, KL.13, KL.17, L.12, L.14, L.15, Table 5; ARR 2020: KL.5, Kl.6, Table 3; ARR 2018: KL.10, KL.11) und der EU-Komission in den "Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals" (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017) aufgegriffen und umgesetzt, für Deutschland ein System zu implementieren, das zum einen die georeferenzierte Erfassung perennierender Gehölzflächen in der Ackerlandkategorie und deren Flächenwanderung ermöglicht, zum anderen die Erfassung der Emissionen in Echtzeit.

6.1.2.3.2 Allgemeine Berechnungsmethoden

Bei Landnutzungsänderungen werden die Kohlenstoffvorratsänderungen in der annuellen und perennierenden Biomasse erfasst und berichtet. Die Berechnung der Biomassevorratsänderungen erfolgt gemäß der Gain-Loss Methode (2006 IPCC Guidelines). Die Einbindung bzw. die Emission von CO_2 wird über die Kohlenstoffvorratsänderungen, getrennt nach ober- und unterirdischer Biomasse, anhand nationaler Daten ermittelt.

Die Abschätzung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse erfolgt durch Subtraktion des vollständigen Biomassekohlenstoffvorrats unmittelbar vor Nutzungsänderung vom Vorrat, der im ersten Jahr nach der Nutzungsänderung aufwächst, bezogen auf die von der Änderung betroffene Fläche (n. Gleichung 2.16, 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006a)):

$$\Delta C_{Bio} = \sum_{i=1}^{n} \left(A_i * EF_{final} - A_i * EF_{initial} \right)$$

ΔC_{Bio}: Veränderung des Kohlenstoffvorrates in der Biomasse einer Landnutzungskategorie im Jahr der Nutzungsänderung [t]

A_i: Fläche der Landnutzungsänderung [ha]

EF_{final}: Pflanzenspezifischer Biomassekohlenstoffvorrat im ersten Jahr nach der Nutzungsänderung [t ha^{-1}]

$EF_{initial}$: Pflanzenspezifischer Biomassekohlenstoffvorrat vor der Landnutzungsänderung [t ha^{-1}]

n: Anzahl der Übergangskategorien

i: Übergangskategorien

6.1.2.3.3 Annuelle Kulturen und Grünland: Berechnungsmethoden und Emissionsfaktoren

Für annuelle Feldfrüchte und Grünland bedeutet die in Kapitel 6.1.2.3.2 angeführte Berechnungsmethode, dass

- nach Landnutzungsänderungen von/zu diesen Kategorien der vollständige Kohlenstoffvorrat der Biomasse im Jahr der Landnutzungsänderung zur Anrechnung kommt; bei Landnutzungsänderungen hin zu diesen Kategorien, wird ab dem zweiten Jahr ein Gleichgewichtszustand angenommen
- in den Verbleibkategorien wird für die pflanzliche Biomasse dieser Kulturen ein Gleichgewicht unterstellt, folglich werden keine Emissionen berichtet (entsprechende Felder werden in den CRF-Tabellen mit NA ausgewiesen)

Der Kohlenstoffvorrat für die ober- und unterirdische Biomasse der Pflanzen annueller Acker- und Gartenlandkulturen sowie Grünländern i.e.S. wird jährlich auf Basis der Ernteerhebungen des statistischen Bundesamtes abgeleitet, wobei die gleichen Datenquellen und Algorithmen wie für die Berechnung der Ernterückstände in CRF-Sektor 3.D verwendet werden. Die Offizialstatistik ist die einzige deutschlandweite, konsistente (inhaltlich und zeitlich)

Datenquelle, die flächendeckend eine Ableitung repräsentativer Emissionsfaktoren für krautige Pflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion in Deutschland ermöglicht (vergl. Kapitel 6.1.2.3.1).

Die Grundlage für die Ermittlung der mittleren Kohlenstoffvorräte für Früchte von Acker- und Gartenlandkulturen bilden die Erträge und Anbauflächen von 65 Feldfrüchten. Diese sind:

- Winterweizen, Sommerweizen, Roggen, Triticale, Wintermenggetreide, Wintergerste, Sommergerste, Hafer, Sommermenggetreide, Körnermais;
- Futtererbsen, Ackerbohnen;
- Kartoffeln, Zuckerrüben, Runkelrübe;
- Winterraps;
- Klee, Luzerne, Gras, Silomais;
- Blumenkohl, Brokkoli, Chinakohl, Grünkohl, Kohlrabi, Rosenkohl, Rotkohl, Weißkohl, Wirsing, Eichblattsalat, Eissalat, Endiviensalat, Feldsalat, Kopfsalat, Lollosalat, Radicchio, Römischer Salat , Rucolasalat, sonstige Salate, Spinat, Rharbarber, Spargel, Staudensellerie, Knollenfenchel, Knollensellerie, Meerrettich, Möhren, Radieschen, Rettich, Rote Rüben, Einlegegurken, Schälgurken, Speisekürbisse, Zucchini, Zuckermais, Buschbohnen, Dicke Bohnen, Stangenbohnen, Frischerbsen-Drusch, Frischerbsen, Bundzwiebeln, Speisezwiebeln, Petersilie, Porree, Schnittlauch.

Für Grünland i.e.S. sind dies die Erträge und Anbauflächen aller statistisch erfassten

- Wiesen
- Mähweiden
- Weiden
- Almen und Hutungen

Die Ableitung der trockenen Biomasse einzelner Pflanzenteile aus den Ernteerträgen erfolgt nach Rösemann et al. (2015) mittels Verhältniszahlen und Wassergehaltsangaben aus unterschiedlichen Quellen. Die Daten und Methoden sind konsistent mit denen zur Berechnung des Stickstoffs in Ernterückständen (CRF 3.D.a.4).

Für die Berechnung des Kohlenstoffvorrats der Biomasse wurde, abweichend vom IPCC Standardwert (50 Gew-%), ein durchschnittlicher Kohlenstoffgehalt von 45 Gew.-% angenommen, da Osowski et al. (2004) Kohlenstoffgehalte für Pflanzen in Mitteleuropa von 44–48 Gew.-% ausweisen und Pöpken (2011), bei ihren Untersuchungen von Nutzgehölzpflanzen für das deutsche Inventar ebenfalls mittlere Werte von 45–46 % ermittelte.

Mithilfe all dieser Daten werden mittlere Kohlenstoffvorräte bezogen auf die Fläche berechnet, in dem, pflanzenspezifisch, die jeweiligen Anbauflächen ([ha]) mit den entsprechenden Erträgen ([t Biomasse ha^{-1}]) multipliziert werden. Diese Produkte (pflanzenspezifisch, absolute Erntemengen einzelner krautiger Pflanzen bzw. Teile derselben [t]) werden auf Trockenmasse und Kohlenstoffgehalt umgerechnet, summiert und durch die entsprechende Flächensumme ([ha] dividiert. Das Ergebnis sind flächen- und ertragsgewichtete Mittel für krautige Pflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion [t C ha^{-1}], die repräsentativ für Deutschland sind. Diese flächenbezogenen mittleren Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] der ober- und unterirdischen Biomasse von Feldfrüchten und Gräsern werden als Emissionsfaktoren angesetzt. Dieses Vorgehen entspricht den Methoden der 2006 IPCC Guidelines.

Die Ergebnisse für annuelle Kulturen der Acker- und Gartenbauflächen sind in Tabelle 346 dargestellt, die für Grünlandkulturen i.e.S. in Tabelle 347.

Tabelle 346 zeigt, dass die Werte für die Biomasse der annuellen Acker- und Gartenlandkulturen im Zeitverlauf einen positiven, signifikanten Trend aufweisen. Daher wird den Berechnungen der Kohlenstoffvorratsänderungen infolge Landnutzungsänderung immer der aktuelle Wert des jeweiligen Jahres zugrunde gelegt.

Tabelle 346: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Biomasse annueller Kulturen auf Acker- und Gartenbauland

Jahr	$Ackerland_{annuell}$ Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]		
	$Biomasse_{total}$	$Biomasse_{oberirdisch}$	$Biomasse_{unterirdisch}$
1990	5,17 ± 0,61	3,72 ± 0,51	1,45 ± 0,33
1995	5,54 ± 0,65	4,12 ± 0,57	1,42 ± 0,32
2000	5,89 ± 0,69	4,40 ± 0,60	1,49 ± 0,33
2005	6,08 ± 0,71	4,58 ± 0,63	1,50 ± 0,34
2010	5,96 ± 0,70	4,51 ± 0,62	1,45 ± 0,32
2011	6,09 ± 0,71	4,55 ± 0,62	1,54 ± 0,35
2012	6,43 ± 0,75	4,84 ± 0,66	1,59 ± 0,36
2013	6,32 ± 0,74	4,81 ± 0,66	1,51 ± 0,34
2014	7,21 ± 0,84	5,45 ± 0,75	1,76 ± 0,40
2015	6,48 ± 0,76	4,95 ± 0,68	1,53 ± 0,34
2016	6,36±0,75	4,81±0,66	1,55±0,35
2017	6,64±0,78	4,96±0,68	1,68±0,38
2018	5,50±0,64	4,12±0,56	1,39±0,31
2019	6,12±0,72	4,58±0,63	1,54±0,34
2020	6,41 ± 0,75	4,80 ± 0,66	1,61 ± 0,36

Für Grünland i.e.S. weisen die Kohlenstoffvorräte der pflanzlichen Biomasse in der Zeitreihe keinen signifikanten Trend auf und die jährlichen Veränderungen sind deutlich geringer als die Unsicherheiten. Daher wird ein mittlerer Kohlenstoffvorrat für die Biomasse von Grünland i.e.S. abgeschätzt und einheitlich den Berechnungen aller Jahre zugrunde gelegt (siehe Tabelle 347). Dieser mittlere Kohlenstoffvorrat über die Zeit wurde mittels Bootstrapping ermittelt. Bootstrapping ist ein Verfahren der Stichprobenwiederholung (resampling), bei dem statistische Kennwerte anhand einer Stichprobe (im vorliegenden Fall die mittleren Kohlenstoffvorräte der ober- und unterirdischen Biomasse krautiger Grünlandpflanzen der Jahre 1990 - 2015) berechnet werden. Dieses Verfahren empfiehlt sich dann besonders, wenn die theoretische Verteilung der Statistik nicht bekannt ist und ein Parameter (im vorliegenden Fall der Mittelwert) der Grundgesamtheit (nicht der Stichprobe) und dessen durchschnittliche Abweichung vom wahren Parameterwert abzuschätzen ist. Die so berechneten Werte für krautige Pflanzen des Grünlands i.e.S. sind in Tabelle 347 dargestellt; sie liegen allen entsprechenden Berechnungen im Inventar zugrunde. Der Standardfehler der errechneten Mittelwerte für die Grundgesamtheit beträgt 2,3 % (Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls).

Tabelle 347: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] von Grünland im engeren Sinne (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)

Grünland i.e.S.	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]		
	$Biomasse_{total}$	$Biomasse_{above}$	$Biomasse_{below}$
Grünland i.e.S.	6,81 ± 2,06	3,78 ± 1,37	3,03 ± 1,54

6.1.2.3.4 Perennierende Kulturen: Berechnungsmethoden und Emissionsfaktoren

Für perennierende pflanzliche Biomasse außerhalb des Waldes werden erstmalig anthropogen bedingte CO_2-Emissionen infolge von Kohlenstoffvorratsänderungen zu dem Zeitpunkt

ausgewiesen, an dem sie auftreten. Hierzu ist es notwendig, die kompletten Wachstumszyklen der unterschiedlichen Gehölzpflanzen und Begleitvegetation zu erfassen und in der Zeit , in Abhängigkeit von Umtriebszyklen und Betriebsdauer, abzubilden. Je nach Landnutzung und Kultur setzt sich der Kohlenstoffvorrat der pflanzlichen Biomasse aus unterschiedlichen Kompartimenten zusammen. Die Landnutzungskategorien bzw. perennierenden Kulturen, die unterstellte Zusammensetzung der pflanzlichen Biomasse sowie deren Umtriebszyklen sind in Tabelle 348 dargestellt.

Tabelle 348: Gehölz Landnutzungskategorien mit perennierenden Gehölzkulturen außerhalb des Waldes, deren Kompartimente und Umtriebszyklen [a]

Landnutzungskategorie	Kürzel	Kompartimente (Gewichtungsfaktor)	Umtriebszyklus [a]	Umtriebszyklus+
Obstanbau	croo	Obstgehölze (1), Grünland (0,75)	20	nächster Zyklus
Weinanbau	crow	Rebstöcke (1), Grünland (0,75)	30	nächster Zyklus
Baumschulen	crot	Forstgehölze (0,33), Ziergehölze (0,33), Grünland (0,33)	10	Gleichgewicht
Weihnachtsbaumkulturen	crox	Nadelhölzer (1), Grünland (0,75)	10	nächster Zyklus
Kurzumtriebsplantagen	cros	Laubgehölze (1)	10	nächster Zyklus
Hecken/Feldgehölze	gra2	Heckengehölze/Laubbäume (1)	12	nächster Zyklus
Terrestrische Feuchtgebiete	wet1	Heckengehölze/Laubbäume (0,33); Grünland (0,66)	12	Gleichgewicht
Siedlungen	set1	Heckengehölze/Laubbäume (0,25); Grünland (0,25)	12	Gleichgewicht

Die Kompartimente werden während der Umtriebszeiten unterschiedlich behandelt. Der aktuelle Kohlenstoffvorrat der Biomasse eines Standortes ergibt sich für ein spezifisches Jahr aus der Summe der aktuellen Vorräte der Kompartimente. Folgende weiteren Unterstellungen liegen der Berechnungsmethodik zugrunde:

- Der Biomassevorrat perennierender Kulturen außerhalb des Waldes wird an jedem Stichprobenpunkt verfolgt; das beinhaltet die jährliche Erfassung der Veränderung des absoluten Vorrats
- Der Biomassevorrat der unterschiedlichen perennierenden Kulturen ist abhängig von deren Umtriebszyklen. Der systemrelevante maximale Vorrat wird im letzten Jahr des Zyklus erreicht
- Nach Ablauf der Umtriebszeit beginnt ein neuer Wachstumszyklus, unabhängig davon, ob sich die Kultur noch in einer Übergangskategorie oder einer Verbleibkategorie befindet
- Unabhängig von den Umtriebszyklen dauert die Übergangszeit max. 20 Jahre (Konzept der effektiven Übergangszeit (Kapitel 6.1.2)); nach Ablauf derselben, wird die Kultur in die der jeweiligen Übergangskategorie entsprechende Verbleibkategorie überführt und verbleibt im aktuellen Umtriebszyklus. Es ändert sich nur die Allokation der aktuellen Vorräte bzw. der Emission
- Bei Landnutzungsänderung von einer Landnutzungskategorie mit perennierenden Kulturen zu jedweder anderen Landnutzungskategorie, wird der aktuelle Kohlenstoffvorrat aller Kompartimente vollständig im Jahr der Landnutzungsänderung als Emission veranschlagt
- Allen Punkten, die für das Jahr 1990 perennierende Kulturen aufwiesen, wurde ein Stadium der kulturspezifischen Umtriebszeit mit einem Zufallsgenerator zugewiesen
- Alle Punkte, die bisher unter die Sammelkategorie Sonstige perennielle Ackerkulturen gefallen sind, werden mittels Zufallsgenerator einer der neuen Kategorien Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen zugeordnet, in Abhängigkeit vom jeweiligen prozentualen Anteil, der sich aus den Daten der Offizialstatistik zu den entsprechenden Erhebungszeitpunkten ergibt. Daten zu Kurzumtriebsplantagen werden explizit erst seit 2010 erhoben.

Die jährliche Berechnung der Emission erfolgt nach Gleichung 2.7 IPCC 2006, Vol. 4:

Gleichung 19

$$Emission\left[t\,CO_2\,ha^{-1}a^{-1}\right] = \left(C_{curr\,year} - C_{prev\,year}\right) * {}^{-44}/_{12}$$

$C_{curr\ year}$: Kohlenstoffvorrat im aktuellen Jahr [t C ha^{-1} a^{-1}]

$C_{prev\ year}$: Kohlenstoffvorrat des vorhergehenden Jahres [t C ha^{-1} a^{-1}]

Dabei wird der Kohlenstoffvorrat spezifisch, für die unterschiedlichen Kulturen, wie folgt bestimmt:

Gleichung 20

$$C_{cultspec} = C_{cultspec_abo} + C_{cultspec_bel}$$

$C_{cultspec}$: Kulturspezifischer Kohlenstoffvorrat der Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

$C_{cultspec_abo}$: Oberirdischer kulturspezifischer Kohlenstoffvorrat der Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

$C_{cultspec_bel}$: Unterirdischer kulturspezifischer Kohlenstoffvorrat der Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

Zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte der ober- und unterirdischen pflanzlichen Biomasse, werden die dafür benötigten Kohlenstoffvorräte der Subkompartimente mit einem spezifischen Gewichtungsfaktor multipliziert, in Abhängigkeit von der Bezugsgröße (z.B. Fläche, oberirdische Biomasse) des jeweiligen Subkompartiments. Die Terme für Schnitt und krautige Pflanzen (gra1) sind kulturspezifisch optional:

Gleichung 21

$$C_{abo} = C_{stem,branch} * GF + C_{cut} * GF + C_{gra1_{abo}} * GF$$

C_{abo}: Oberirdischer Kohlenstoffvorrat der Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

$C_{stem,branch}$: Oberirdischer Kohlenstoffvorrat der Gehölze (Stamm, Äste) [t C ha^{-1} a^{-1}]

GF: Kulturspezifischer Gewichtungsfaktor$_{Bezugsgröße}$

C_{cut}: Kohlenstoffvorrat des Schnittgutes [t C ha^{-1} a^{-1}]

$C_{gra1\ abo}$: Oberirdischer Kohlenstoffvorrat der krautigen Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

Gleichung 22

$$C_{bel} = C_{roots} * GF + C_{gra1_{bel}} * GF$$

C_{bel}: Unterirdischer Kohlenstoffvorrat der Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

C_{roots}: Unterirdischer Kohlenstoffvorrat des Gehölzes (Wurzeln) [t C ha^{-1} a^{-1}]

$C_{gra1\ bel}$: Unterirdischer Kohlenstoffvorrat der krautigen Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]

GF: Kulturspezifischer Gewichtungsfaktor$_{Bezugsgröße}$

6.1.2.3.5 Ableitung der Emissionsfaktoren für perennierende Gehölzkulturen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ wurden landesspezifische Kohlenstoffvorräte für die ober- und unterirdische Biomasse von Obstgehölzen, Wein und Weihnachtsbaumkulturen in Deutschland erhoben. Außerdem wurden mittels dieser Daten und Ergebnissen der Bundeswaldinventur mittlere Kohlenstoffvorräte für die Pflanzenbestände in Baumschulen abgeschätzt. Die mittlere Baumbiomasse für Kurzumtriebsplantagen und Hopfen wurde landesspezifisch aus Literatur- und Forschungsprojektdaten hergeleitet.

6.1.2.3.5.1 Obstgehölze

Im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes wurden aus den zwei Hauptobstanbaugebieten Deutschlands (Altes Land: Norddeutschland und Bodenseegebiet:

Süddeutschland) insgesamt 100 Obstbäume (91 Apfel-, 6 Kirsch- und 3 Pflaumenbäume) unterschiedlichen Alters und Sorte destruktiv untersucht. Zusätzlich wurden an 210 lebenden Apfelbäumen folgende Parameter erhoben:

- Stammfußdurchmesser
- Brusthöhendurchmesser
- Höhe

Betrachtet wurde ausschließlich der Erwerbsobstbau. Anhand aller im Forschungsprojekt erhobenen Daten sowie Ergebnissen der Offizialstatistik (Baumobstanbauerhebung [94]Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.4)) konnte der Gesamtkohlenstoffvorrat in der ober- und unterirdischen Biomasse der unterschiedlichen Obstgehölze für unterschiedliche Altersklassen und für alle Jahre der Obstanbauerhebungen (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.4) (2002, 2007, 2012, 2017) ermittelt werden. Dabei wurden die für Apfelbäume abgeleiteten Werte auch den Birnen zugeteilt, die für Kirsche und Pflaume sowohl den Zwetschgen als auch den Mirabellen und Renekloden.

Für das Inventar können Obstanbauflächen nur pauschal georeferenziert, nicht differenziert nach Art der Obstgehölze ausgewiesen werden. Daher wurde aus den Daten ein langjähriger flächengewichteter, durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat für die oberirdische Phytomasse von Obstgehölzen abgeleitet, Dies erfolgt mittels Division der Summe des Gesamtkohlenstoffvorrats jeder Partition einer Altersklasse durch die jeweils bestockte Fläche. Für die unterirdische pflanzliche Biomasse konnte dies nicht durchgeführt werden, da die im Forschungsprojekt erhobenen Originaldaten probenahmebedingt sehr stark variierten und keine signifikante Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse abgeleitet werden konnte. Aus diesem Grunde wurde die unterirdische pflanzliche Biomasse aus der oberirdischen Biomasse anhand der Gleichung von MOKANY et al. (2006)[95] ermittelt.

Aus den so abgeleiteten Werten konnte dann für die oberirdische Biomasse durch Regression eine Sigmoidfunktion abgeleitet werden, die hochsignifikant das Verhältnis von Kohlenstoffvorrat in Obstgehölzen in Relation zum Alter beschreibt:

Gleichung 23

$$C_{croo_{stem,branch}} = -1,9798 + \frac{16,9435}{(1 + e^{-\frac{a-13,0365}{6,1938}})}$$

$C_{croo\ stem,branch}$: Kohlenstoffvorrat Stamm und Äste der Obstgehölze [t C ha^{-1}]

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung (1, 2, 3 - 20) nach Bestandserneuerung

Diese Formel sowie die daraus abgeleiteten Werte für die unterirdische Biomasse (Mokany et al.) liegen im Inventar allen Berechnungen mit Obstgehölzen zugrunde.

Weitere Unterstellungen sind:

[94] Bei der Baumobstanbauerhebung handelt es sich um eine repräsentative statistische Erhebung im Erwerbsobstbau Deutschlands, die alle 5 Jahre durchgeführt wird. Der vorliegenden Submission liegen die Ergebnisse der Obstanbauerhebungen der Jahre 2002, 2007, 2012 und 2017 zugrunde. Bei der Erhebung werden vom Statistischen Bundesamt u.a. die Stückzahlen von Apfel-, Birn-, Süß-, Sauerkirsch-, Pflaumen-, Zwetschgen-, Mirabellen- und Reneklodenbäumen in unterschiedlichen Altersklassen ermittelt, sowie die mit diesen Bäumen in der jeweiligen Altersklasse bestockten Flächen. Die Baumobstanbauerhebung ist eine Vollerhebung

[95] $Phytomasse_{unterirdisch}$ = 0,489 * ($Phytomasse_{oberirdisch}$Gehölze)^{0,890} - MOKANY et al. (2006) haben in ihrer Übersichtsarbeit Wurzel/Spross-Verhältnisse für zahlreiche Vegetationstypen in Abhängigkeit von Biomasse, klimatischen und standortkundlichen Parametern abgeleitet, die als Default-Werte in die IPCC – Guidelines 2006 (IPCC 2006) übernommen wurden

- Der Schnitt beträgt jährlich 20 % der oberirdischen Biomasse (PÖPKEN 2011)
- 75 % der Obstanbauflächen sind mit krautigen Pflanzen/Gras bewachsen
- Die Umtriebszeit der Obstgärten wird auf 20 Jahre festgelegt (Angaben zwischen 12 – 25 Jahren; rechnerisch, ermittelt aus der Verteilung der Baumbiomasse der unterschiedlichen Altersklassen nach Destatis: 18,3 Jahre); dann erfolgt eine vollständige Bestandserneuerung (nicht Gras)

Der oberirdische pflanzliche Biomassevorrat für Obstanbauflächen errechnet sich nach

Gleichung 24

$$C_{croo_{abo}} = C_{croo_{stem,branch}} + C_{croo_{cut}} + C_{gra1_{abo}} * 0,75$$

$C_{croo\ stem,branch}$: Kohlenstoffvorrat Stamm und Äste der Obstgehölze [t C ha^{-1}]

$C_{croo\ cut}$: Kohlenstoffvorrat des jährlichen Schnittguts [t C ha^{-1}]

$C_{gra1\ abo}$: Kohlenstoffvorrat für die oberirdische Biomasse von Grünland i.e.S. [3,78 t C ha^{-1}]

Der unterirdische pflanzliche Biomassevorrat für Obstanbauflächen errechnet sich nach:

Gleichung 25

$$C_{croo_{roots}} = 0,489 * C_{croo_{abo}}^{0,89}$$

$C_{croo\ roots}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse von Obstgehölzen [t C ha^{-1}]

$C_{croo\ abo}$: Kohlenstoffvorrat der oberirdische Biomasse von Obstgehölzen [t C ha^{-1}]

Gleichung 26

$$C_{croo_{bel}} = C_{croo_{roots}} + C_{gra1_{bel}} * 0,75$$

$C_{croo\ bel}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse von Obstgehölzen [t C ha^{-1}]

$C_{croo\ roots}$: Kohlenstoffvorrat der Wurzelbiomasse in [t C ha^{-1}]

$C_{gra1\ bel}$: Kohlenstoffvorrat für die unterirdische Biomasse von Grünland i.e.S. [3,03 t C ha^{-1}]

Zur Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Obstanbauflächen und deren Verrechnung als Emissionen, kommen die in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. Die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte im Obstanbau während mehrerer Umtriebszyklen, sowie die damit verbundenen Emissionen, sind in Abbildung 53 dargestellt.

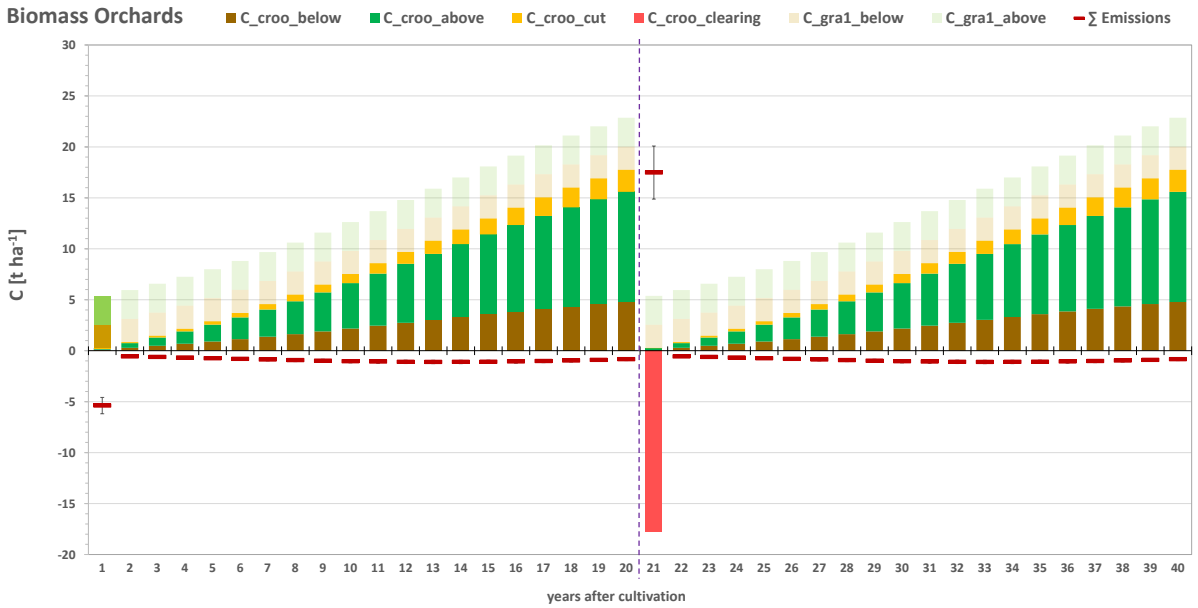


Abbildung 53: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Obstanbauflächen sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant

6.1.2.3.5.2 Wein

Zur Ermittlung landesspezifischer Kohlenstoffvorräte für Weinstöcke wurden im Projekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ (Pöpken, 2011) 74 Weinstöcke destruktiv untersucht. Die Rebstöcke waren 15 bzw. 25 Jahre alt. Ermittelt wurden die Masse sowie der Wasser- und Kohlenstoffgehalt der ober- und unterirdischen Pflanzenteile (Pöpken, 2011). Aus diesen Daten konnte mittels nichtlinearer Regression ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen Alter und Kohlenstoffvorrat der ober- und unterirdischen Biomasse von Rebstöcken ermittelt werden. Da in Deutschland durchschnittlich 4.000 Weinstöcke auf einem Hektar stocken (Pöpken, 2011), wurden zur Berechnung des Kohlenstoffvorrats pro Flächeneinheit die C-Vorräte der einzelnen Pflanzenkompartimente bzw. der Gesamtpflanze mit 4.000 multipliziert und somit die Vorräte pro ha ermittelt. Die Berechnung der ober- und unterirdischen pflanzlichen Biomasse erfolgt nach folgenden Gleichungen:

Gleichung 27: Berechnung der oberirdischen Biomasse für Rebstöcke

$$C_{crow_{vine}} = (-0{,}004 * a^2 + 0{,}0234 * a) * \frac{4000}{1000}$$

$C_{crow\ vine}$: Kohlenstoffvorrat des Rebstocks [t C ha^{-1}]

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung (1 – 30)

Gleichung 28: Berechnung der unterirdischen Biomasse für Rebstöcke

$$\boldsymbol{C_{crow_{roots}} = (0{,}0001 * a^2 + 0{,}0096 * a) * \frac{4000}{1000}}$$

$C_{crow\ roots}$: Kohlenstoffvorrat der Wurzel des Rebstocks [t C ha^{-1}]

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung (1 – 30)

Nicht zuletzt aus Gründen des Erosionsschutzes werden in Deutschland auf den Zwischenstreifen im Weinbau Grünlandpflanzen kultiviert. Wie im Obstbau wird auch im Weinbau der durchschnittliche Flächenanteil von Grünlandpflanzen mit 75 % angenommen. In weiteren Untersuchungen wurde festgestellt, dass jährlich ca. 0,81 t C ha^{-1} Schnitt anfallen. Grasanteil und Schnitt werden nur bei erstmaliger Bestandsneubegründung und bei Nutzungsänderung von Wein zu einer anderen Landnutzungskategorie in Rechnung gestellt. Die Betriebsdauer ist gleich der Umtriebszeit und beträgt 30 Jahre. So errechnet sich für den Weinanbau der Kohlenstoffvorrat in der Biomasse nach folgenden Formeln:

Gleichung 29: Summe der oberirdischen Biomasse im Weinanbau in [t C ha^{-1}]

$$C_{crow_{abo}} = C_{crow_{vine}} + C_{crow_{cut}} + C_{gra1_{abo}} * 0,75$$

$C_{crow\ abo}$: Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse auf Weinanbauflächen [t C ha^{-1}]

$C_{crow\ vine}$: Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse des Rebstocks [t C ha^{-1}]

$C_{crow\ cut}$: Kohlenstoffvorrat des jährlichen Schnittguts des Rebstocks [t C ha^{-1}]

$C_{gra1\ abo}$: Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse des Grünlandes zwischen den Pflanzreihen [t C ha^{-1}]

Gleichung 30: Summe der unterirdischne Biomasse im Weinanbau in [t C ha^{-1}]

$$C_{crow_{bel}} = C_{crow_{roots}} + C_{gra1_{bel}} * 0,75$$

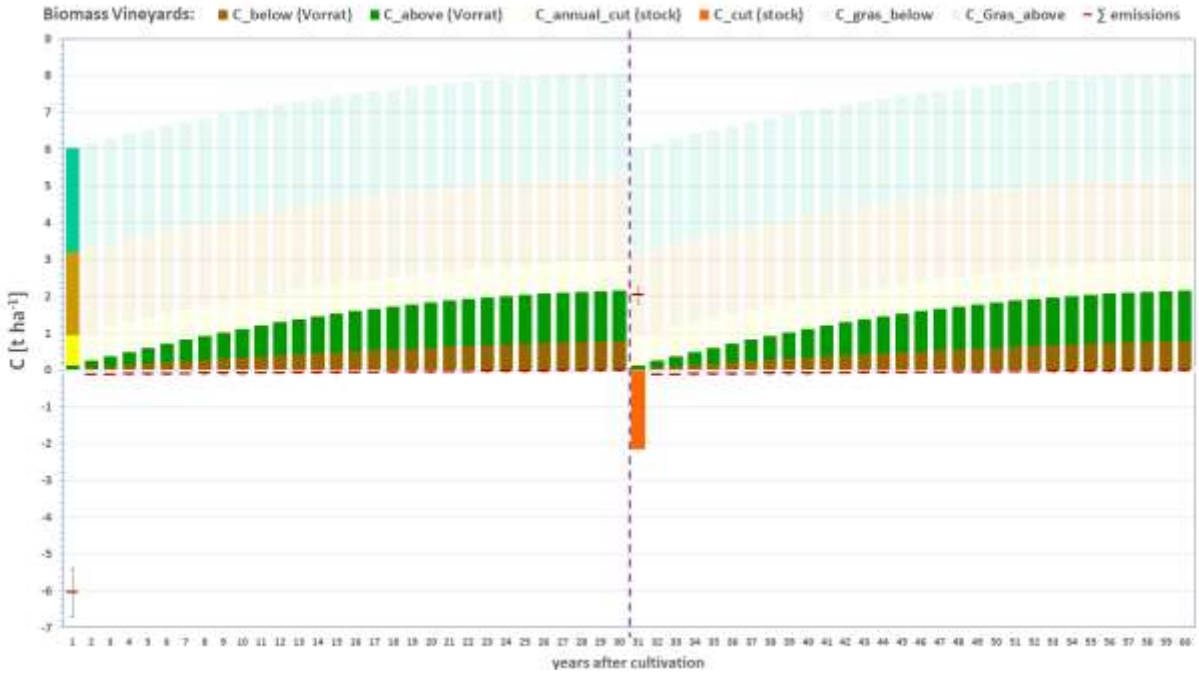
$C_{crow\ bel}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse auf Weinanbauflächen [t C ha^{-1}]

$C_{crow\ roots}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse des Rebstocks [t C ha^{-1}]

$C_{gra1\ bel}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse des Grünlandes zwischen den Pflanzreihen [t C ha^{-1}]

Zur Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Weinanbauflächen und deren Verrechnung als Emissionen kommen die in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. Die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte im Weinbau in der Zeit, sowie die damit verbundenen Emissionen sind in Abbildung 54 dargestellt.

Abbildung 54: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha-1] in Kompartimenten der Biomasse von Weingärten sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha-1] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant



6.1.2.3.5.3 Baumschulen

Aussagen über die Art der in Baumschulen (crot) aufgezogenen Gehölze gibt die Baumschulerhebung, die im Turnus von 4 Jahren als Vollerhebung vom Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7) durchgeführt wird. Die Erhebung 2017 zeigte, dass auf den deutschen Baumschulflächen hauptsächlich Zier- und sonstige Gehölze angebaut (ca. 80 %) wurden; die Aufschulung von Forstpflanzen erfolgte auf ca. 20 % der Fläche (Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7)). Da für Deutschland keine Untersuchungen über den durchschnittlichen Biomassevorrat im Aufwuchs von Baumschulen vorliegen, wurde aus landesspezifischen Biomassevorratswerten für Gehölzpflanzen ein mittlerer Kohlenstoffvorrat pro Baumschulflächeneinheit hergeleitet. Hierfür wurde Folgendes unterstellt:

- Der Gehölzbestand setzt sich zu zwei Dritteln aus Ziergehölzen und zu einem Drittel aus Waldbäumen zusammen (letztere werden zwar nur auf ca. 20 % der Fläche aufgezogen; da in Baumschulen aber auch Nadelgehölze für Weihnachten und auch im Zierpflanzenanbau, außerdem „Waldbäume“ wie Eiche und Buche geschult werden, wurde der Anteil auf 33 % aufgewertet)
- Baumschulpflanzen werden max. 10 Jahre geschult
- Die Altersklassen innerhalb der Gehölzgruppen sind gleichverteilt
- 6000 Pflanzen pro ha (dies entspricht einem mittleren Pflanzenabstand von ca. 120/130 cm)
- Zusätzlich 1/3 der Fläche ist mit krautigen Pflanzen/Gras bestanden; dies wird im Jahr der Begründung einmalig veranschlagt, dann erst wieder bei Nutzungsänderung von crot zu anderer LUC

- Umtriebszeit: 10 Jahre; es wird unterstellt, dass 10 Jahre nach der Betriebsbegründung das Gehölzsystem ins Gleichgewicht fällt, Entnahme und Zuwachs sich die Waage halten. Daher wird ab dem 10. Jahr der Mittelwert der in 10 Jahren produzierten Gehölzbiomasse als Gleichgewichtswert unterstellt. Es werden ab dem 11. Jahr keine Emissionen mehr berichtet.

Für Ziergehölze wurden stellvertretend die aus den Ergebnissen des Projekts „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ (Pöpken) abgeleiteten Kohlenstoffvorräte für Obstgehölze herangezogen. So wurden hälftig, für größere Gehölze, die für Kirsche und Pflaume ermittelten Kohlenstoffvorräte, für kleinere Gehölze, die für Apfelbäume zugrunde gelegt (s. Kapitel 6.1.2.3.5.1). Zur Berechnung der Biomasse der Waldbäume wurden die Methoden angewendet, die zur Berechnung der Waldbiomasse von (Kändler & Bösch) entwickelt wurden und in Kapitel 6.4.2.2 beschrieben sind. Die unterirdische Biomasse wurde für die einzelnen Gehölzgruppen anhand der Formel von Mokany et al. (2006b) abgeschätzt (s. Kapitel 6.1.2.3.5.1).

Aus den Kohlenstoffvorräten der einzelnen Gehölzgruppen wurden Mittelwerte in Abhängigkeit vom Alter gebildet, die den Kohlenstoffvorrat in der pflanzlichen Biomasse der Gehölzpflanzen einer Baumschule repräsentieren. Diese wurden zum Alter in Relation gesetzt, wodurch sowohl für die oberirdische als auch die unterirdische Biomasse hochsignifikante Regressionsgleichungen ermittelt werden konnten, die allen entsprechenden Berechnungen zugrunde liegen:

Gleichung 31: Oberirdische Biomasse für Baumschulen in [t C ha^{-1}]

$$C_{crot_{abo}} = 0,2673 * a^2 - 0,0744 * a + \frac{C_{gra1_{abo}}}{3}$$

$C_{crot\ abo}$: Kohlenstoffvorrat für die oberirdische Biomasse von Baumschulen in [t C ha^{-1}]

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung (1 – 10)

$C_{gra1\ abo}$: Kohlenstoffvorrat für die oberirdische Biomasse von Grünland i.e.S. [3,78 t C ha^{-1}]

Gleichung 32: Unterirdische Biomasse für Baumschulen in [t C ha^{-1}]

$$C_{crot_{bel}} = 0,0599 * a^2 + 0,1562 * a + \frac{C_{gra1_{bel}}}{3}$$

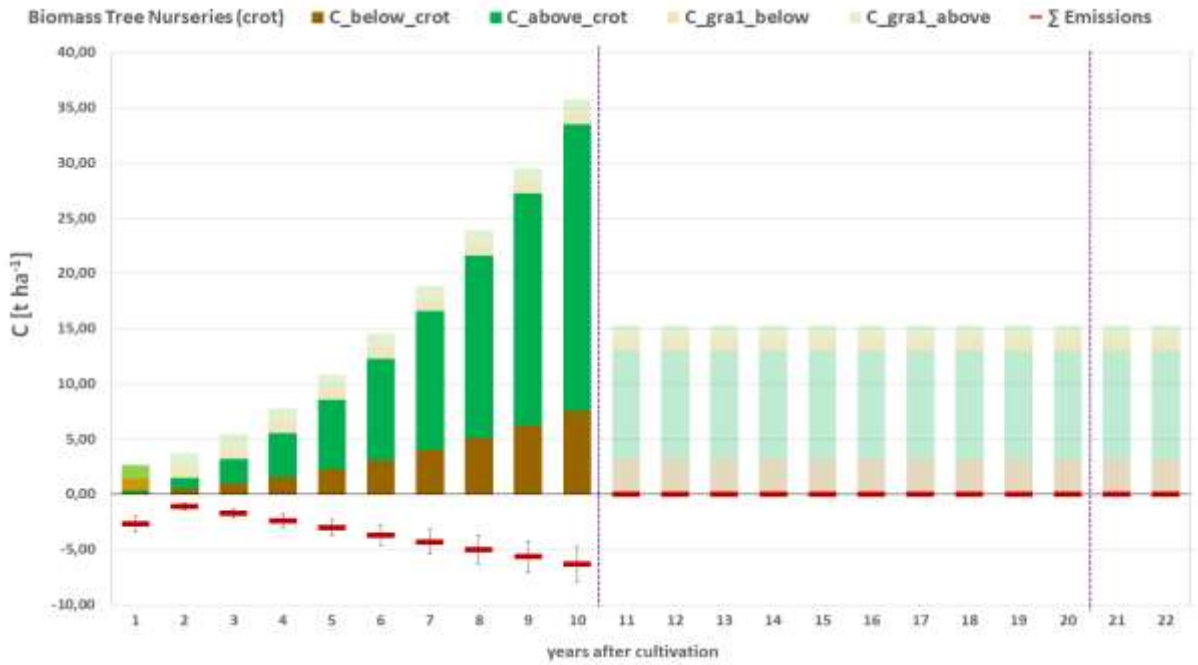
$C_{crot\ bel}$: Kohlenstoffvorrat für die oberirdische Biomasse von Baumschulen in [t C ha^{-1}]

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung (1 – 10)

$C_{gra1\ bel}$: Kohlenstoffvorrat für die unterirdische Biomasse von Grünland i.e.S. [3,03 t C ha^{-1}]

Abgesehen von den o.a. Abweichungen, kommen zur Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Baumschulen, den damit verbundenen Emissionen und deren Allokation, die in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. In Abbildung 55 ist die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in Baumschulen während aufeinander folgender Umtriebszyklen sowie die damit verbundenen Emissionen dargestellt.

Abbildung 55: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}]] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Baumschulen (SOC) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung und Ablauf der Betriebsdauer emissionsrelevant



6.1.2.3.5.4 Weihnachtsbaumkulturen

Flächen zur Kultivierung von Weihnachtsbäumen (crox) setzen sich i.d.R. aus Nadelgehölzen und krautigen Pflanzen zusammen. Der Flächenanteil letzterer wird mit 75 % unterstellt; zur Berechnung des Kohlenstoffvorrates in der krautigen Biomasse wird als Proxy der Wert für Grünland i.e.S. herangezogen. Über die pflanzliche Biomasse von Weihnachtsbäumen gibt es kaum Daten. PÖPKEN (2011) führt Untersuchungen der Universität Kopenhagen an, die einen Wert von 50 t Biomasse ha^{-1} ergaben, bei einer Umtriebszeit von 8 – 12 Jahren. Daher wurde die Dauer für einen durchschnittlichen Umtriebszyklus auf 10 Jahre festgelegt. Da sich die 50 t Biomasse ha^{-1}, entsprechend 22,5 t Kohlenstoff ha^{-1}, auf die gesamte Biomasse beziehen, wurde nach der Formel von MOKANY et al. (2006) der unterirdische Anteil daran mit 5,95 t C ha^{-1} bestimmt. So ergibt sich für die oberirdische Biomasse der Weihnachtsbäume ein Wert von 16,56 t C $^{-1}$, die zur Ermittlung der jährlichen Kohlenstoffvorratsänderungen in der oberirdischen Biomasse der Weihnachtsbäume linear auf die Jahre eines Umtriebszyklus verteilt wurden, so dass sich der oberirdische Kohlenstoffvorrat berechnet nach:

Gleichung 33: Oberirdische Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen

$$C_{crox_{abo}} = a * 1,656 + C_{gra1_{abo}} * 0,75$$

$C_{crox\ abo}$: Kohlenstoffvorrat in der Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen [t C ha^{-1}]

$C_{gra1\ abo}$: Kohlenstoffvorrat in der oberirdischen Biomasse von krautigen, annuellen Pflanzen [3,78 t C ha^{-1}]

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung (Umtriebszyklus 10 Jahre)

Die unterirdische Biomasse errechnet sich für die Gehölze nach der Gleichung von MOKANY et al. (2006) zuzüglich der unterirdischen Biomasse der krautigen Pflanzen:

Gleichung 34: Unterirdische Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen

$$C_{croz_{bel}} = 0,489 * x^{0,89} + C_{gra1_{bel}} * 0,75$$

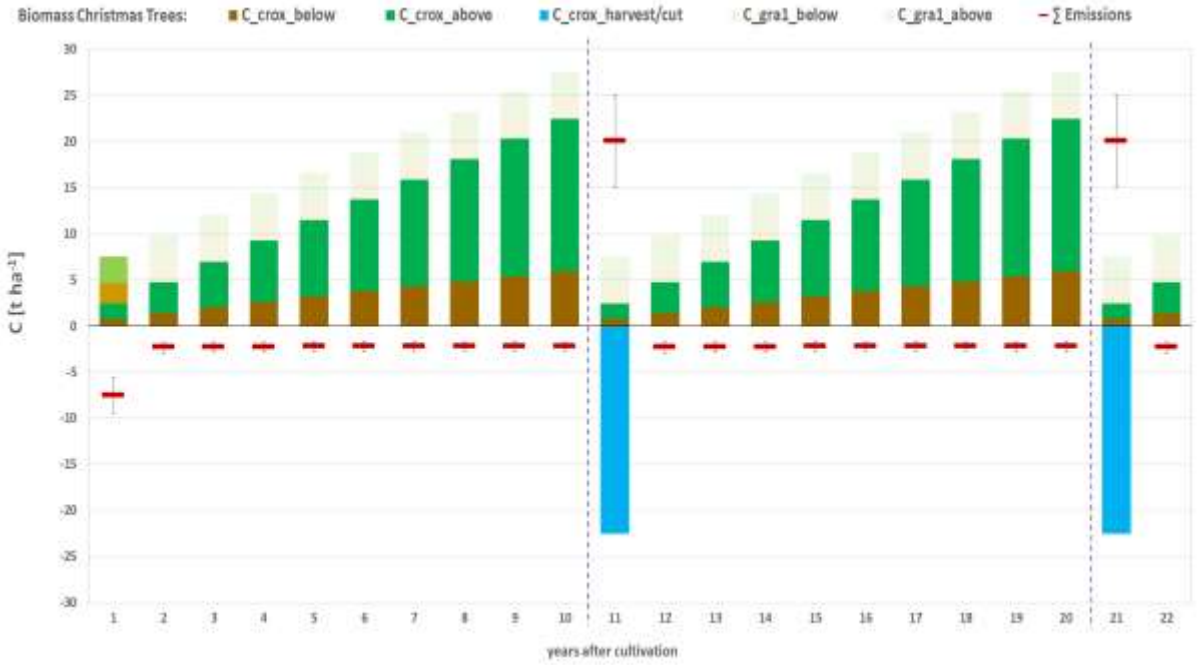
$C_{crox\ bel}$: Kohlenstoffvorrat in der unterirdischen Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen [t C ha^{-1}]

x: Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse Ccrox abo

$C_{gra1\ bel}$: Kohlenstoffvorrat in der unterirdischen Biomasse von krautigen, annuellen Pflanzen [3,03 t C ha^{-1}]

Nach einem Umtriebszyklus wird ein vollständiger Ersatz der holzigen Biomasse in Weihnachtsbaumkulturen unterstellt; ansonsten kommen die in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. Dies führt zur in Abbildung 56 dargestellten Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in Weihnachtsbaumkulturen während aufeinander folgender Umtriebszyklen sowie den damit verbundenen Emissionen.

Abbildung 56: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen (crox) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant



6.1.2.3.5.5 Kurzumtriebsplantagen

Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind in Deutschland nach § 2 des Bundeswaldgesetzes BWaldG (2015) kein Wald und werden deshalb im deutschen Inventar ausschließlich in der Landnutzungskategorie Ackerland berichtet. Da KUP auch im Rahmen der Bundeswaldinventur als Ackerland ausgewiesen werden, ist eine Doppelzählung ausgeschlossen. Da die Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen in Deutschland ausschließlich energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt wird, werden damit im Zusammenhang stehende Emissionen nicht unter Holzprodukten (HWP) berichtet (s. Kapitel 6.10.1).

Zur Ermittlung landesspezifischer, mittlerer Kohlenstoffvorräte in der Biomasse von Kurzumtriebsplantagen (KUP) wurden Daten aus der einschlägigen Literatur abgeleitet. Grundlegend waren die Übersichtsarbeiten von Walter et al. (2015), Horn (2013), Gurgel (2011), Kern et al. (2010), Biertümpfel et al. (2009), Boelcke (2007), Stolzenburg (2006) und Maier and Vetter (2004). Diese Arbeiten enthalten die Ergebnisse von 23 Versuchsstandorten zu

Kurzumtriebsplantagen, die über ganz Deutschland verteilt sind (Bayern, Baden-Württemberg, Thüringen, Sachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen), alle Klimazonen (Niederschlag: 550 – 1550 mm; Jahresdurchschnittstemperatur: 6,8 – 10,1°C) und Bodenarten umfassen (leichte bis schwere Böden) und vom Tiefland bis ins Mittelgebirge reichen. Auf insgesamt 62 Versuchsfeldern wurden die Kurzumtriebsplantagen überwiegend mit Pappeln (58 %) und Weiden (34 %) aber auch mit Birken (3 %), Erlen, Robinien und Blauglockenbäumen (5%) bestockt. Die Umtriebszeiten betrugen zwischen einem und zehn Jahren, bei einem Mittel von 4,2 Jahren. Da diese Studien bezüglich räumlicher Verteilung, Standortbedingungen, Bewuchs und Management[96] das ganze Spektrum des Betriebes von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland widerspiegeln, sind sie repräsentativ.

Aus den Ergebnissen dieser Studien konnte der durchschnittliche jährliche Trockenertrag mit 9,05 (-6,0 % / +9,9 %) t ha^{-1} a^{-1} oberirdische Biomasse für Kurzumtriebsplantagen in Deutschland abgeleitet werden. Angelehnt an die Verhältnisse in Deutschland, wurde eine durchschnittliche Betriebsdauer von 20 Jahren und ein durchschnittlicher Umtriebszyklus von 10 Jahre unterstellt. Nach Ablauf der Umtriebszeit wird der Bestand auf den Stock gesetzt; d.h. es erfolgt die Anrechnung der kompletten oberirdischen Biomasse als Emission, die unterirdische Biomasse bleibt erhalten. Emissionen ergeben sich in der Folge nur aus Zuwachs der oberirdischen Biomasse. Nach Ablauf der Betriebsdauer erfolgt die vollständige Entfernung der ober- und unterirdischen Phytomasse, danach eine Bestandsneubegründung. Zur Herleitung der Wachstumskurven der oberirdischen Biomasse wird der mittlere jährliche Trockenertrag mit dem Faktor 0,45 in Kohlenstoff umgerechnet und mit der Anzahl der Jahre der Betriebsdauer multipliziert.

Gleichung 35: Oberirdische Biomasse von Kurzumtriebsplantagen

$$C_{cros_{abo}} = a * 9,05 * 0,45$$

$C_{cros\ abo}$: oberirdische Biomasse von Kurzumtriebsplantagen in [t ha^{-1}]

9,05: Durchschnittlicher Trockenertrag der oberirdischen Biomasse in Kurzumtriebsplantagen [t ha^{-1}]

0,45: Kohlenstoffanteil trockener pflanzlicher Biomasse

a: Anzahl Jahre nach Neubegründung

Die unterirdische Biomasse wurde mittels des oberirdischen Kohlenstoffvorrates anhand der Formel von (Mokany et al.) bestimmt.

Gleichung 36: Unterirdische Biomasse von Kurzumtriebsplantagen

$$C_{cros_{bel}} = 0,489 * x^{0,89}$$

Ccros bel: unterirdische Biomasse von Kurzumtriebsplantagen in [t ha-1]

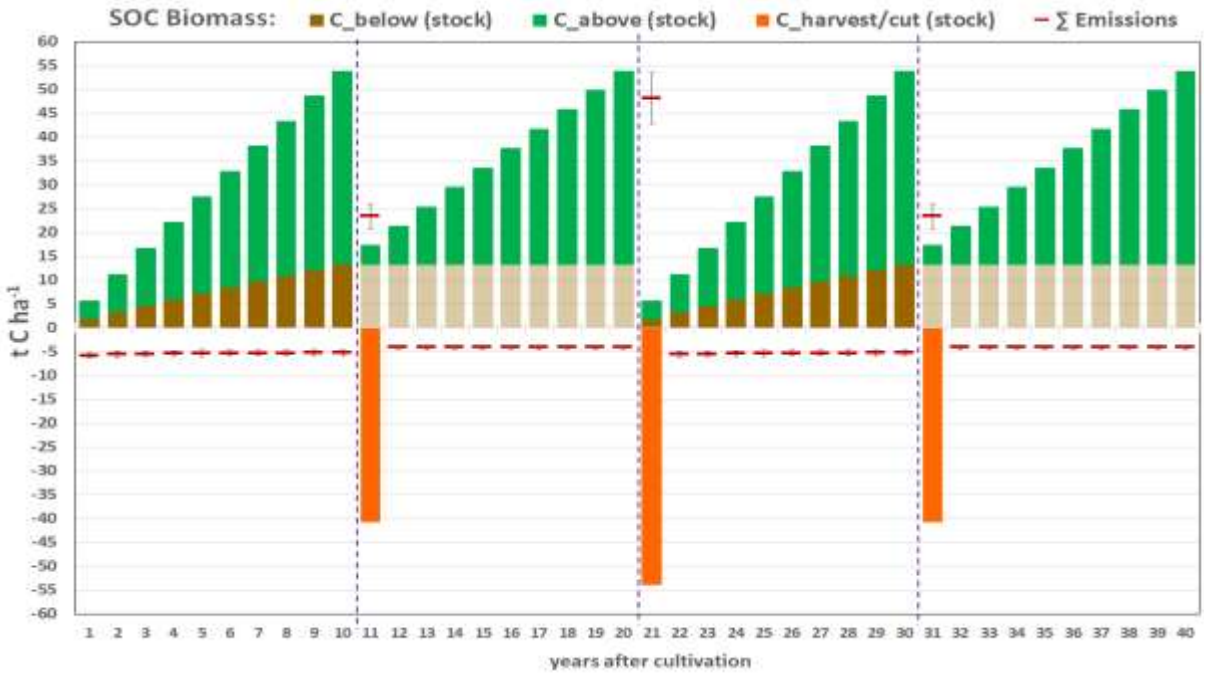
x: Kohlenstoffvorrat in der oberirdischen Biomasse Ccros abo

Zur Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Kurzumtriebsplantagen, deren Verrechnung als Emissionen und deren Allokation, kommen die

[96] Umsetzung der Befunde ARR 2021, KL.12, Table 5; 2020, KL.5+6, Table ; 2018, KL.10+11; zur Verbesserung der Transparenz: Da in Deutschland flächendeckend keinerlei Daten zur Bewirtschaftung/Düngung landwirtschaftlicher Flächen erhoben werden, können hier keine konkreten Angaben zur Düngung von Kurzumtriebsplantagen getroffen werden. Allgemein gehen entsprechende Untersuchungen und Anbauempfehlungen jedoch davon aus, dass eine Düngung nur in absoluten Ausnahmefällen notwendig ist, da in der Regel die Versorgung mit den Hauptnährstoffen ausreichend ist ({DBU 2010}; S. 19) und: "Insgesamt kann im Mittel für Kurzumtriebsbestände derzeit von Eintragsraten von ≥ 10 kg N ha^{-1} a^{-1} ausgegangen werden, so dass der durch die Erntemaßnahmen entstehende Entzug von N allein durch die jährlichen Einträge aus der atmosphärischen Deposition kompensiert wird" ({DBU 2010}; S. 20)

in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. In Abbildung 57 ist die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in Kurzumtriebsplantagen während aufeinander folgender Umtriebszyklen sowie die damit verbundenen Emissionen dargestellt.

Abbildung 57: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Kurzumtriebsplantagen (SOC) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung und Ablauf der Betriebsdauer emissionsrelevant



6.1.2.3.5.6 Hopfen

Die Werte zur Biomasse von Hopfenanbauflächen entstammen Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen des Hopfenforschungszentrums der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Portner et al. (2019) ermittelten an zwei Standorten in der Hallertau quantitativ die gesamte oberirdische Biomasse von Hopfen sowie der Zwischenfrüchte. Der Anteil der unterirdischen Biomasse wurde nach Graf et al. (2014); Graf (2016) und Sobotik et al. (2018) auf 50 % der oberirdischen Biomasse abgeschätzt. Für die Hopfenanbauflächen errechnen sich dann die in Tabelle 349 aufgeführten Kohlenstoffvorräte für die einzelnen Phytomassekompartimente. Die unter Hopfenanbaufläche aufgeführten Werte sind Grundlage aller Emissionsberechnungen im Zusammenhang mit Hopfenanbauflächen. Zur Berechnung der Vorratsänderungen in der Phytomasse der Hopfenpflanzen infolge Nutzung und Landnutzungsänderung sowie Anrechnung der Emissionen, kommen die in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung.

Tabelle 349: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)] der Biomasse von Hopfenkulturen, Zwischenfrüchten und deren Summe nach Portner et al. (2019)

Kultur	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]		
	Phytomasse$_{total}$	Phytomasse$_{above}$	Phytomasse$_{below}$
Hopfen	4,77 ± 0,84	3,18 ± 0,32	1,59 ± 0,80
Zwischenfrucht	0,61 ± 0,3	0,45 ± 0,18	0,15 ± 0,08
Hopfenanbaufläche	**5,38 ± 0,89**	**3,64 ± 0,39**	**1,74 ± 0,80**

6.1.2.3.6 Berechnungsmethodik und Ermittlung der Emissionsfaktoren für Hecken und Feldgehölze

Zur Bestimmung des Kohlenstoffvorrates für Hecken wurden von Pöpken (2011) im Rahmen des Forschungsprojektes „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ 50 Hecken untersucht. Die Ausprägung der aufgenommenen Hecken variierte bezüglich:

1. **des Alters**
    - ca. 4-20 Jahre
2. **der Ausdehnung**
    - Höhe ca. 2-9 m
    - Tiefe ca. 1-6 m
    - Länge ca. 100-500 m
3. **der Artenzusammensetzung**
    - typische Heckenpflanzen, wie Hundsrose (Rosa canina), Schlehe (Prunus spinosa), Hasel (Corylus avellana), Holunder (Sambuccus spec.), Rot- und Weißdorn (Crataegus spec.), Heckenkirschen (Lonicera spec.) und Weiden (Salix spec.)
    - Bäume, wie Feldahorn (Acer campestre), Hainbuche (Carpinus betulus), Weide (Salix spec.), Buche (Fagus sylvatica), Linde (Tilia spec.) und Ulme (Ulmus spec.),

so dass ein repräsentatives Spektrum dieser Feldgehölze erfasst wurde. An diesen Gehölzproben wurden im Labor die Masse, der Wasser- und Kohlenstoffgehalt gemessen, so das der absolute und der flächenbezogene Kohlenstoffvorrat in Verbindung mit den Feldmaßen ermittelt werden konnte. Anhand dieser Daten konnte mittels Regression ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Kohlenstoffvorrat der Biomasse von Hecken und deren Alter ermittelt werden.

Gleichung 37: Oberirdische Biomasse für Hecken und Feldgehölze

$$C_{gra2_{abo}} = 1,5506 * x^{1,6015}$$

$C_{gra2\ abo}$: Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse in Hecken/ Feldgehölzen [t C ha^{-1}]

x: Alter der Hecken/Feldgehölze nach Begründung [a]

Da bei der Untersuchung von Pöpken (2011) aus Gründen des Naturschutzes lediglich die oberirdische Biomasse erfasst werden konnte, wurde zur Abschätzung der unterirdischen Biomasse die Formel von (Mokany et al.) herangezogen.

Gleichung 21: Unterirdische Biomasse für Hecken und Feldgehölze

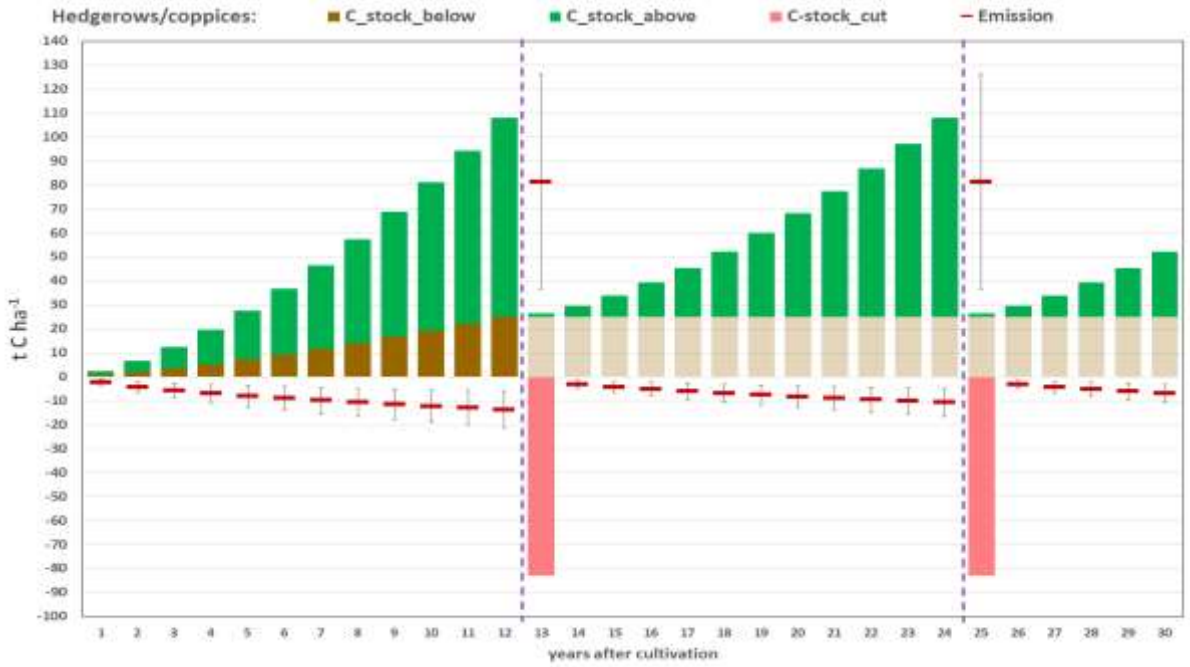
$$C_{gra2_{bel}} = 0{,}489 * {C_{gra2_{abo}}}^{0{,}89}$$

$C_{gra2\ bel}$: Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse in Hecken/ Feldgehölzen [t C ha^{-1}]

Der Gesamtvorrat pro Altersklasse ergibt sich dann aus der Summe aller Kompartimente. Für einen Umtriebszyklus werden 12 Jahre unterstellt. Dies entspricht dem durchschnittlichen Umtriebszyklus für Hecken in Deutschland, wonach der Pflegeschnitt erfolgt, die Hecke auf den Stock gesetzt wird. Das bedeutet, dass ab dem 13-ten Jahr, da die unterirdische Biomasse erhalten bleibt, sich Emissionen nur aus Zuwachs und Schnitt der oberirdischen Biomasse ergeben. Die Entwicklung des Kohlenstoffvorrates in der pflanzlichen Biomasse von Hecken/Feldgehölzen ist in Abbildung 58 dargestellt.

Bei Landnutzungsänderungen von Hecken/Feldgehölzen zu anderen Landnutzungskategorien, wird i.d.R. die Summe des aktuellen Kohlenstoffvorrats aller Kompartimente der Biomasse von Hecken/Feldgehölzen mit dem Vorrat der Biomasse der Folgenutzung verrechnet, der im ersten Jahr zuwächst (vergl. Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3). Ausnahme von dieser Regel bildet der Nutzungsübergang von Hecken/Gehölzen zu Wald. In diesem Fall wird nur die Hälfte der aktuellen Biomasse der Hecken/Gehölze als Verlust gegengerechnet. Diese Korrektur wurde eingeführt, da eine diesbezügliche Auswertung der Daten der Bundeswaldinventuren ergab, dass bei ca. 50 % der Fälle solcher Landnutzungsänderungen die Biomasse der Kategorie Hecken/Feldgehölze vollständig in die des Waldes übergeht.

Abbildung 58: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der Biomasse von Hecken/Gehölzen sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|); transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant



6.1.2.3.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Siedlungen

Terrestrische Feuchtgebiete (wet1)

Terrestrische Feuchtgebiete sind in der Regel mit Gehölzen (einzelne Büsche bis Wälder), Moosen und Gräsern bewachsen, von denen letztere überwiegen. Aufgrund dessen wird im

Inventar folgende Annahme für die Flächenverteilung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse unterstellt: 1/3 Gehölzanteil und 2/3 Moos-/Grasanteil. Da für derartige Flächen keine spezifischen Biomasseerhebungen in Deutschland vorliegen, werden die Werte für Hecken/Feldgehölze (Kapitel 6.1.2.3.6) und Grünland i.e.S. (Kapitel 6.1.2.3.3) näherungsweise zugrunde gelegt. Der Kohlenstoffvorrat terrestrischer Feuchtgebiete berechnet sich dann für die unter- und oberirdische Biomasse wie folgt:

Gleichung 38: Biomasse terrestrischer Feuchtgebiete

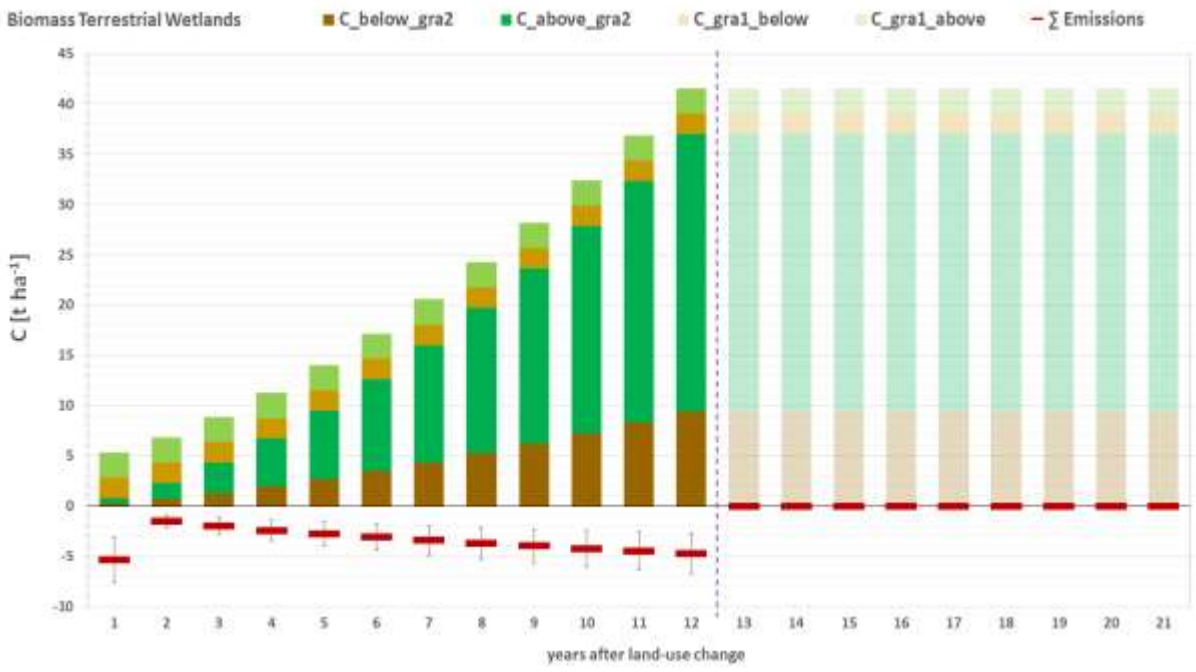
$$C_{wet1} = \frac{1}{3} C_{gra2} + \frac{2}{3} C_{gra1}$$

C_{gra2}: Kohlenstoffvorrat der ober-/unterirdischen Biomasse von Hecken/Feldgehölzen im Jahr x nach Bestandsbegründung [t C ha-1] (Kapitel 6.1.2.3.6)

C_{gra1}: Kohlenstoffvorrat in der ober-/unterirdischen pflanzlichen Biomasse von Grünland i.e.S [t C ha^{-1}] (Kapitel 6.1.2.3.3)

Zur Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Terrestrischen Feuchtgebietsflächen und deren Verrechnung als Emissionen, kommen die in Kapitel 6.1.2.3.6 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. Abweichend davon wird unterstellt, dass nach 12 Jahren ein Gleichgewichtsvorrat erreicht wird, somit ab dem 13. Jahr am betreffenden Erhebungspunkt keine Emissionen mehr berichtet werden. Die Ergebnisse der Kohlenstoffvorratsentwicklung in der Zeit zeigt die folgende Abbildung.

Abbildung 59: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Terrestrischen Feuchtgebieten (wet1) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant



Siedlungen (set1)

Flächen im Siedlungs- und Verkehrsbereich weisen erhebliche Anteile an unversiegelten, mit Vegetation bedeckten Fächen auf. Stichprobenuntersuchungen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung haben ergeben, dass

der Anteil der überbauten und versiegelten Fläche an der ausgewiesenen Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen 40–50 % beträgt (Einig et al., 2009). Daher wird für egrünte Fläche im deutschen Inventar im Mittel 50 % der Siedlungsfläche unterstellt.

Da über die Biomasse bzw. den Kohlenstoffvorrat auf diesen Flächen keine spezifisch erhobenen Daten vorliegen, wird angenommen, dass die begrünte Fläche zur Hälfte aus Gehölzen, zur anderen Hälfte aus Rasen-/Gras-/Grünflächen besteht. Diese Annahmen entsprechen in etwa den Werten, die in der Schweiz diesbezüglich zugrunde gelegt werden. Mit Methoden der Fernerkundung wurde hier der Anteil an Bäumen (32,1 %) und Büschen (15,3 %) am Pflanzenbedeckungsgrad mit 47,4 % ermittelt (FOEN, 2010). Da im Siedlungs- und Verkehrsbereich die Variation der anzutreffenden Gehölze sehr groß ist - vom Kleingartengehölz über Hecken jeglicher Ausgestaltung bis zu Straßen- und Waldbäumen - wurde bezüglich der Biomasse dieser Gehölze in dieser Landnutzungskategorie die Methode zur Ermittlung der Biomasse von Hecken/Feldgehölzen zugrunde gelegt (gra2; Kapitel 6.1.2.3.6), für die Rasen- und Grünflächen der für Grünland i.e.S.(gra1; Kapitel 6.1.2.3.3). Der Kohlenstoffvorrat für die Biomasse einer Siedlungsfläche ergibt sich dann nach:

Gleichung 39: Biomasse von Siedlungsflächen

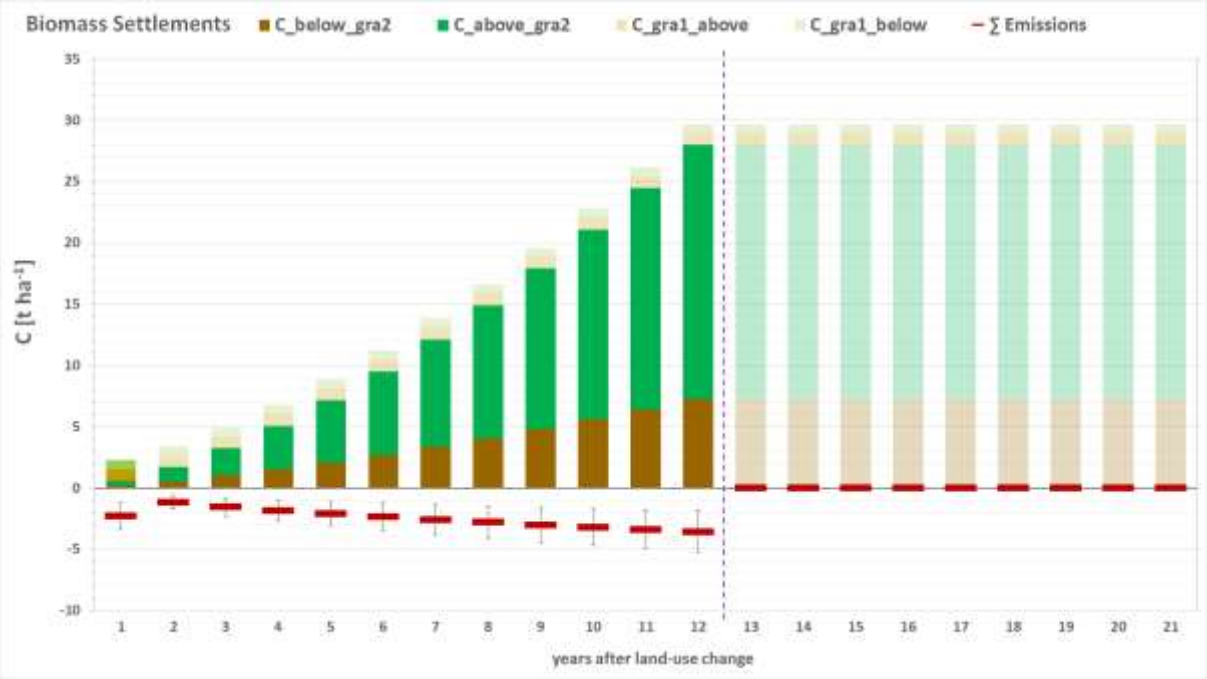
$$C_{set1} = \frac{\frac{1}{2} C_{gra2} + \frac{1}{2} C_{gra1}}{2}$$

C_{gra2}: Kohlenstoffvorrat der ober-/unterirdischen Biomasse von Hecken/Feldgehölzen im Jahr x nach Bestandsbegründung [t C ha^{-1}](Kapitel 6.1.2.3.6)

C_{gra1}: Kohlenstoffvorrat in der ober-/unterirdischen pflanzlichen Biomasse von Grünland i.e.S [t C ha^{-1}] (Kapitel 6.1.2.3.3)

Die Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Siedlungsflächen und deren Verrechnung als Emissionen erfolgt nach den in Kapitel 6.1.2.3.6 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden. Abweichend davon wird unterstellt, dass nach 12 Jahren ein Gleichgewichtsvorrat erreicht wird, somit ab dem 13. Jahr am betreffenden Erhebungspunkt keine Emissionen mehr berichtet werden. Die Ergebnisse der Kohlenstoffvorratsentwicklung in der Zeit zeigt die folgende Abbildung.

Abbildung 60 Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Siedlungsflächen (set1) sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant



6.1.2.3.8 Wald

Die Berechnung der Vorratsänderungen der pflanzlichen Biomasse im Wald infolge von Landnutzung und Landnutzungsänderung erfolgt nach den in Kapitel 6.1.2.3.1 ff. aufgeführten Methoden. Weitergehende Angaben zu Methodik und Herleitung der Emissionsfaktoren für die Waldbiomasse finden sich in Kapitel 6.4.2.2ff. Für die Berechnung der Umwandlung von Wald in andere Nutzungen (Entwaldung) wurde der für Deutschland ermittelte Durchschnittswert für Entwaldungsflächen der Bundeswaldinventuren 2002, 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 (AFZ 2019, (Schwitzgebel & Riedel, 2019)) für die jeweiligen Berichtsjahre zugrunde gelegt. Methodik und Herleitung der Werte siehe Kapitel 6.4.2.2ff. Die Werte sind in Tabelle 356 dargestellt. Die jährliche Kohlenstoffvorratsänderung in der Waldbiomasse nach Aufforstung zeigt Tabelle 364 in Kapitel 6.4.2.2.2).

Tabelle 350: Zeitreihe der mittleren Kohlenstoffvorräte ± Hälfte des 95 %-Konfidenzintervalls der Biomasse von Entwaldungsflächen [t C ha^{-1}]

Jahr	Biomasse – Kohlenstoff [t C ha^{-1} (EF 1)				
	Bio_{total}	Bio_{above}	Bio_{below}	Totholz	Streu
1990	28,93 ± 7,86	24,53 ± 7,47	4,39 ± 1,47	1,88 ± 0,98	19,00 ± 0,60
1995	28,93 ± 7,86	24,53 ± 7,47	4,39 ± 1,47	1,88 ± 0,98	18,94 ± 0,60
2000	28,93 ± 7,86	24,53 ± 7,47	4,39 ± 1,47	1,88 ± 0,98	18,88 ± 0,59
2005	36,27 ± 9,86	31,52 ± 9,60	4,75 ± 1,59	1,82 ± 0,95	18,81 ± 0,59
2010	39,48 ± 10,73	34,88 ± 10,63	4,60 ± 1,54	1,48 ± 0,77	18,75 ± 0,59
2015	40,88 ± 11,11	36,06 ± 10,99	4,82 ± 1,62	1,97 ± 1,03	18,69 ± 0,59
2016	40,88 ± 11,11	36,06 ± 10,99	4,82 ± 1,62	1,97 ± 1,03	18,68 ± 0,59
2017	40,88 ± 11,11	36,06 ± 10,99	4,82 ± 1,62	1,97 ± 1,03	18,66 ± 0,59
2018	40,88 ± 11,11	36,06 ± 10,99	4,82 ± 1,62	1,97 ± 1,03	18,65 ± 0,59
2019	40,88 ± 11,11	36,06 ± 10,99	4,82 ± 1,62	1,97 ± 1,03	18,65 ± 0,59
2020	40,88 ± 11,11	36,06 ± 10,99	4,82 ± 1,62	1,97 ± 1,03	18,65 ± 0,59

6.1.2.4 Kohlenstoffemissionen aus toter organischer Substanz (4.A bis 4.F)

Emissionen aus toter organischer Substanz werden nur für die Landnutzungskategorie Wald und den Landnutzungsänderungen von Wald zu einer der Kategorien 4.B - 4.E berichtet. Dabei wird die tote organische Substanz in die zwei Pools Totholz und Streu unterteilt. Die methodische Beschreibung und die zugehörigen Ergebnisse finden sich in den Kapiteln 6.4.2.3 für Totholz und 6.4.2.4 für Streu in der Landnutzungskategorie Wald.

In den Landnutzungsänderungskategorien 4.B - 4.E werden die Emissionen aus der toten organischen Substanz mit den Emissionen aus der lebenden Biomasse erfasst, da bei der Abschätzung der Emissionen aus der lebenden Biomasse jeweils die der gesamten Pflanze zugrunde gelegt wird. Daher werden die Emissionen aus toter organischer Substanz in diesen Übergangskategorien in den CRF-Tabellen mit dem Vermerk IE (included elsewhere) versehen, um eine doppelte Anrechnung zu vermeiden. In der Kategorie 4.F wird der Vermerk NO (not occurring) verwendet, da es sich bei Flächen in dieser Kategorie per Definition um vegetationslose Flächen handelt.

6.1.2.5 Direkte N_2O-Emissionen aus Stickstoff-Düngung von Waldflächen und anderen Flächen (4(I))

Stickstoffdüngung von Wäldern, Feuchtgebieten und Siedlungen finden in Deutschland nicht statt. In der CRF-Tabelle 4(I) wird für alle Aktivitäten daher „NO“ (not occurring) eingetragen.

6.1.2.6 Emissionen aus der Entwässerung von organischen und mineralischen Böden

Emissionen aus der Entwässerung oder anderen Bewirtschaftungsmaßnahmen von Böden in Deutschland entstehen nur auf organischen Böden. Auf mineralischen Böden treten keine Emissionen auf, weshalb in der CRF-Tabelle 4(II) für alle Landnutzungskategorien für die mineralischen Böden NO (nicht vorkommend) angegeben wird.

Eine Wiedervernässung von organischen Böden wurde ebenfalls nicht berücksichtigt und in der CRF-Tabelle als NO (nicht vorkommend) angegeben. Somit entstehen Emissionen einzig durch die Entwässerung (Drainage) von organischen Böden.

Die Kohlenstoffemissionen aus den organischen Böden werden in den CRF-Tabellen 4.A bis 4.F übernommen. In der CRF-Tabelle 4(II) werden für organische Böden die Werte für N_2O und CH_4 sowie für CO2 IE (included elsewhere) eingetragen.

Die methodische Beschreibung für die Herleitung der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren der organischen Böden erfolgt im Kapitel 6.1.2.2 „Emissionen aus organischen Böden“.

6.1.2.7 Direkte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus Stickstoff-Mineralisierung (CRF-Tabelle 4(III))

Die direkten (CRF-Tabelle 4 (III)) N_2O-Emissionen, die durch Verluste an organischer Bodensubstanz infolge von Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen entstehen, wurden gemäß der IPCC Guidelines 2006 ermittelt. Hierfür wurden die für die einzelnen Landnutzungsänderungsflächen ermittelten Kohlenstoffvorratsänderungen durch die mittleren C/N – Verhältnisse der entsprechenden Böden dividiert und somit die absoluten Veränderungen im Stickstoffvorrat der Böden bestimmt (Gleichung 11.8 in den IPCC Guidelines 2006, IPCC (2006a)). Die C/N-Verhältnisse für Waldböden entstammen der BZE-Wald (Wellbrock et al., 2016), die für Ackerlandböden, Grünland i.e.S., Gehölze ,Terrestrische Feuchtgebiete und Siedlungen der BZE-Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Die C/N-Verhältnisse für Siedlungsböden und Mineralböden der Kategorie Sonstiges Land wurden aus den Schätzprofildaten der BÜK 1000 n 2.3 (BGR 2011) abgeleitet.

Zur Ermittlung der direkten Emissionen wurden die absoluten Stickstoffvorratsunterschiede mit dem IPCC Standardwert von 0,01 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ verrechnet, gemäß Gleichung 11.1 in den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006a). Die so ermittelten N_2O-Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(III) aufgeführt; die Emissionsfaktoren sind in Tabelle 351, die Unsicherheiten in den Unsicherheiten-Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien (vgl. Kapitel 6.4.3, 6.5.3, 6.6.3, 6.7.3 und 6.8.3) zusammengefasst.

Die Lachgasemissionen unterliegen ebenfalls der Übergangszeit und werden analog zu den Kohlenstoffvorratsänderungen auf 20 Jahre verteilt. Auch bezüglich der effektiven Übergangszeit gelten die für den Kohlenstoff anzuwendenden Methoden; zur Herleitung der impliziten Stickstoffemissionsfaktoren für den Wald gelten die diesbezüglich für den Kohlenstoff gemachten Ausführungen (vgl. Kapitel 6.1.2.1.1).

Die direkten Lachgas-Emissionen infolge des Zersatzes organischer Substanz aus der Verbleibkategorie Ackerland[97], werden gemäß IPCC Guidelines 2006 im Sektor Landwirtschaft unter 3.D.a.5 berichtet.

[97] Summe der Emissionen aus den Verbleibkategorien und der Übergangskategorien untereinander der Landnutzungskategorien $Ackerland_{annuell}$, Hopfenanbau, Obstanbau, Weinanbau, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

Tabelle 351: Implizite Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020

Implizite Emissionsfaktoren$_{Mineralböden}$ [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] für das Jahr 2020															
Initial\Final	**Wald**	**Acker$_{annuell}$**	**Hopfen**	**Weinanbau**	**Obstanbau**	**Baumschulen**	**Weihnachst-baumkulturen**	**Kurzumtriebs-plantagen**	**Grünland i.e.S.**	**Gehölze**	**Terrestr. Feuchtgebiete**	**Gewässer**	**Torf**	**Siedlungen**	**Sonstiges Land**
Wald		0,08	0	0	0	0	0	0	0	0,073	0	0	NO	0,356	NO
Acker$_{annuell}$	0,060		*0,091*	*0,806*	*0,019*	*0,057*	*0,067*	*0,085*	0	0,062	0	0	NO	0,283	NO
Hopfen	0	*0,13*		*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,584	NO
Weinanbau	0	*0,007*	0		0	*0,004*	*0*	*0*	0	0,015	0	0	NO	0,300	NO
Obstanbau	0,93	*0,661*	*0,601*	*1,552*		*0,512*	*0,596*	*0,536*	0	0,614	0	0	NO	0,299	NO
Baumschulen	0	*0,135*	0	*0,988*	*0,003*		0	0	0	0,052	0	0	NO	0,297	NO
Weihnachtsbaum-kulturen	0	*0,128*	0	*0,983*	*0,008*	0		0	0	0,044	0	0	NO	0,847	NO
Kurzumtriebs-plantagen	0	*0,174*	0	0	0	0	0		0	0,097	0	0	NO	0,914	NO
Grünland i.e.S.	0,767	0	1,281	1,921	0,866	1,420	1,490	1,471		1,525	0	0	NO	0,612	NO
Gehölze	0,074	0,148	0,015	0,810	0,030	0	0,122	0,098	0		0	0	NO	0,689	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	2,240	1,886	0	0	2,26	2,693	0	0	0,959	2,386		0	NO	0,906	NO
Gewässer	0	0	0	1,726	0	0	0	0	0	0	0		NO	0	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	0	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	NO		NO
Sonstiges Land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO	0	

kursive Werte: Berichtet im Sektor Landwirtschaft (3.D.a.5)

positiv: Lachgasemission

6.1.2.8 Indirekte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus bewirtschafteten Böden (CRF-Tabelle 4(IV))

Die indirekten N_2O-Emissionen, die durch Verluste an organischer Bodensubstanz infolge von Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen entstehen, wurden gemäß der IPCC Guidelines 2006 (IPCC (2006a) ermittelt und in der CRF-Tabelle 4(IV) ausgewiesen. Die indirekten N_2O-Emissionen infolge atmosphärischer Deposition werden im Sektor Landwirtschaft (CRF 3.B.2.5) berichtet. In der CRF-Tabelle 4(IV) sind die entsprechenden Spalten deshalb mit dem notation key IE versehen. Zur Ermittlung der indirekten Lachgasemissionen wurden die für die einzelnen Landnutzungsänderungsflächen ermittelten Kohlenstoffvorratsänderungen durch die flächengewichteten mittleren C/N – Verhältnisse der entsprechenden Böden dividiert und somit die absoluten Veränderungen im Stickstoffvorrat der Böden bestimmt (Gleichung 11.8 in den IPCC Guidelines 2006, IPCC (2006a)). Die C/N-Verhältnisse für Waldböden entstammen der BZE-Wald (Wellbrock et al., 2016), die für Ackerlandböden, Grünland i.e.S., Gehölze und Terrestrische Feuchtgebiete der BZE-Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Die C/N-Verhältnisse für Siedlungsböden und Mineralböden der Kategorie Sonstiges Land wurden aus den Schätzprofildaten der BÜK 1000 n 2.3 (BGR 2011) abgeleitet (s. auch Kapitel 6.1.2.1.2).

Zur Abschätzung der indirekten Lachgasemissionen wurden die N-Vorratsunterschiede nach Gleichung 11.10 der IPCC Guidelines 2006 mit den Standardfaktoren $Frac_{Leach-(H)}$ (0,3 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$) und dem EF_5 (0,0075 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$) multipliziert (IPCC, 2006a). Die Emissionsfaktoren für die indirekten Lachgasemissionen sind für das Jahr 2019 in Tabelle 352 aufgeführt und die Unsicherheiten werden in den Unsicherheiten-Kapiteln der Landnutzungskategorien beschrieben (vgl. Kapitel 6.4.3, 6.5.3, 6.6.3, 6.7.3 und 6.8.3). Die Ergebnisse werden in die CRF-Tabelle 4(IV) eingetragen.

Die Lachgasemissionen unterliegen ebenfalls der Übergangszeit und werden analog zu den Kohlenstoffvorratsänderungen auf 20 Jahre verteilt. Auch bezüglich der effektiven Übergangszeit gelten die für den Kohlenstoff anzuwendenden Methoden; zur Herleitung der impliziten Stickstoffemissionsfaktoren für den Wald gelten die diesbezüglich für den Kohlenstoff gemachten Ausführungen (vgl. Kapitel 6.1.2.1.1).

Die direkte Lachgas-Emissionen infolge des Zersatzes organischer Substanz aus der Verbleibkategorie Ackerland[98], werden gemäß IPCC Guidelines 2006 im Sektor Landwirtschaft unter 3.D.a.5 berichtet.

Tabelle 352: Implizite Emissionsfaktoren für indirekte Lachgasemissionen [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020

Implizite Emissionsfaktoren$_{Mineralböden}$ [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] für das Jahr 2020															
Initial\Final	**Wald**	**Acker$_{annuell}$**	**Hopfen**	**Weinanbau**	**Obstanbau**	**Baumschulen**	**Weihnachst-baumkulturen**	**Kurzumtriebs-plantagen**	**Grünland i.e.S.**	**Gehölze**	**Terrestr. Feuchtgebiete**	**Gewässer**	**Torf**	**Siedlungen**	**Sonstiges Land**
Wald		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO	0,080	NO
Acker$_{annuell}$	0,013		*0,020*	*0,181*	*0,004*	*0,013*	*0,015*	*0,019*	0	0,014	0	0	NO	0,063	NO
Hopfen	0	*0,029*		*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,131	NO
Weinanbau	0	*0,002*	*0*		*0*	*0*	*0*	*0*	0	0,003	0	0	NO	0,067	NO
Obstanbau	0,021	*0,15*	*0,135*	*0,349*		*0,115*	*0,134*	*0,121*	0	0,138	0	0	NO	0,067	NO
Baumschulen	0	*0,031*	*0*	*0,222*	*0,001*		*0*	*0*	0	0,012	0	0	NO	0,191	NO
Weihnachtsbaum-kulturen	0	*0,029*	*0*	*0,221*	*0,002*	*0*		*0*	0	0,010	0	0	NO	0,206	NO
Kurzumtriebs-plantagen	0	*0,039*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*		0	0,022	0	0	NO	0,245	NO
Grünland i.e.S.	0,173	0	0,288	0,432	0,195	0,319	0,335	0,331		0,343	0	0	NO	0,138	NO
Gehölze	0,017	0,033	0,003	0,182	0,007	0,029	0,028	0,22	0		0	0	NO	0,155	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	0,504	0,424	0	0,388	0,509	0,606	0	0	0,216	0,537		0	NO	0,204	NO
Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		NO	0	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO		NO
Sonstiges Land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO	0,022	

kursive Werte: Berichtet im Sektor Landwirtschaft (3.D.a.5)

positiv: Lachgasemission

6.1.2.9 Verbrennung von Biomasse (CRF-Tabelle 4(V))

Die Verbrennung von Biomasse tritt in Deutschland einzig durch Waldbrände auf. Die daduch entstandenen Emissionen werden in der CRF-Tabelle 4(V) eingetragen. Die methodische Beschreibung zu den Waldbränden befindet sich im Waldbrand-Kapitel 6.4.2.7.5 in der Landnutzungskategorie Wald.

Für die Landnutzungskategorien Ackerland, Grasland, Feuchgebiete und Sonstiges Land gibt es keine Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse. Dabei wird für alle Kategorien nach kontrollierten Feuern und Wildfeuern unterschieden. Spontane Feuer (Wildfeuer) in diesen Landnutzungskategorien sind in Deutschland seltene Ereignisse und werden daher nicht erfasst:

[98] Summe der Emissionen aus den Verbleibkategorien und der Übergangskategorien untereinander der Landnutzungskategorien Ackerland$_{annuell}$, Hopfenanbau, Obstanbau, Weinanbau, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

die Treibhausgasemissionen daraus sind zu vernachlässigen. In der CRF-Tabelle 4(V) wird NO (not occurring) eingetragen.

Anthropogen verursachte Großbrände, wie der Moorbrand 2018, konnten im Jahr 2020 nicht verzeichnet werden.

Kontrollierte Feuer (On-site burning von Biomasse) sind in Deutschland per Gesetz verboten (§ 3 DirektZahlVerpflV; Bundesgesetzblatt (2004)) und treten in Deutschland nicht auf. Dies betrifft alle Landnutzungskategorien. In der CRF-Tabelle 4(V) wird NO (not occurring) eingetragen.

6.1.2.10 Unsicherheiten

Die Unsicherheitenbestimmung im LULUCF Teil des deutschen Treibhausgasinventars folgt den Richtlinien der 2006 IPCC Guidelines und der Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2000). Bei Normalverteilung wird das 95 % Konfidenzintervall angegeben bzw. ± die Hälfte des 95 % Konfidenzintervals oder 1,96 x der Standardfehler in % vom Mittelwert. Bei unsymmetrischen Verteilungen, hier triangular- oder logarithmisch-normalverteilte Daten, werden die Unsicherheiten in Prozent vom Lagemaß dargestellt, als obere und untere Schranke; in der Regel ermittelt über die Quantile (p = 0,025 bzw. p = 0,975). Bei der Unsicherheitenfortpflanzungsrechnung wurde gemäß der oben angegebenen Richtlinien, im Sinne einer konservativen Abschätzung, der Abstand zwischen dem Extremwert des schiefen Achsenabschnitts zum Lagemaß per Definition zur Hälfte des 95 % Konfidenzintervals erklärt. Für die Holzprodukte konnte wegen fehlender Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren keine Unsicherheitenberechnung durchgeführt werden (siehe auch Kapitel 11.3.1.5.3).

Die Gesamtunsicherheit des LULUCF-Teils des deutschen THG-Inventars beträgt demnach 17,4 % bezüglich des Levels der Emissionen. Den größten Beitrag zur Gesamtunsicherheit bedingen die CO_2-Emissionen (97,2 %), der Einfluss der Methan- (2,4 %) und Lachgasemissionen (0,3 %) auf die Gesamtunsicherheit ist marginal und praktisch kaum wahrnehmbar.

Bezogen auf die Pools tragen die organischen Böden mit Abstand den größten Beitrag (82,6 %) zur Gesamtunsicherheit des LULUCF-Inventars bei, insbesondere aus der Kategorie Grünland (96,2 %); die Beiträge aller anderen Kategorien sind < 1 % für diesen Pool. Auch der Pool Mineralboden trägt noch zählbar zur Gesamtunsicherheit bei (13,6 %); wogegen der Beitrag der Biomasse (2,4 %) und der toten organischen Substanz (1,4 %) gering ist.

Insgesamt bedingen die Landnutzungskategorien Grünland i.e.S (79,8 %), Wald (16,3 %) und $Ackerland_{annuell}$ (2,7 %) 98,9 % der Gesamtunsicherheit des deutschen LULUCF-Inventars.

6.1.3 Qualitätssicherung und -kontrolle

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und für 4.A bis 4.G sowie die Landflächen zusätzlich auch eine kategoriespezifische Qualitätskontrolle sowie eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Bei der QS kamen detaillierte Checklisten und Einzelchecks zur Überprüfung und Dokumentation der Ergebnisse entsprechend dem Qualitätsmanagement des Thünen Instituts (TI 2016) zum Einsatz. Die Thünen-Checklisten sowie andere für die QK wichtigen Dokumente werden von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert und sind somit auch zur externen Überprüfung verfügbar

6.1.3.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts

Das Qualitätsmanagement der Emissionsinventarerstellung am Thünen-Institut wurde konform zu den IPCC-Richtlinien und dem QSE-Handbuch (Kapitel 1.3.3) entwickelt. Rahmenbedingungen und Durchführung des Qualitätsmanagements sind im Konzept (BMELV, 2016) und in der Ausführungsbestimmung des Konzepts (TI, 2016) ausführlich beschrieben. Alle Dokumente und Daten werden in der Inventarbeschreibung abgelegt, die von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert wird. Die Vorgaben und Abläufe der Ausführungsbestimmung wurden vollständig eingehalten. Im Folgenden werden die besonderen zusätzlichen Qualitätskontrollen für diese Submission beschrieben.

6.1.3.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse

Im ersten Schritt wurde die Landnutzungsmatrix qualitätskontrolliert und zur Emissionsberechnung freigegeben. Die Prüfungen umfassten die Entscheidungsbäume und die Ergebnisse der jährlichen Landnutzungsmatrix und der 20-jährigen Übergangszeit. Im Folgenden sind wichtige Testkriterien für die Landnutzungsmatrix gelistet, die in der Prüfung zum Einsatz kamen. Diese gehen über die Anforderungen der Ausführungsbestimmung hinaus. Sie gelten für die gesamte Landnutzungsmatrix und die beiden Teilmatrizen für Mineral- und organische Böden:

- Die nationale Fläche ist konstant.
- Die nationale Fläche ist die gleiche wie im Vorjahr.
- Die Flächen der Landnutzungskategorien sind gleich oder kaum unterschiedlich zum Vorjahr bzw. Unterschiede sind erklärbar.
- Die Flächen und Flächentrends sind konsistent mit statistischen Daten bzw. Unterschiede sind erklärbar.
- Die Summen der Gesamtflächen, bestehend aus verbleibenden Flächen und Landnutzungsänderungen, sind korrekt.
- Sonstige Flächen sind konstant oder nehmen ab; es findet keine Landnutzungsänderung zu sonstigen Flächen statt.
- Torfabbauflächen wurden getrennt ausgewiesen.
- Die Wald- und ARD-Flächen zwischen LULUCF und KP-LULUCF sind konsistent.

Die Emissionsberechnungen wurden mit der qualitätsgeprüften Landnutzungsmatrix durchgeführt. Aus den Flächendaten und Emissionsfaktoren bzw. impliziten Emissionsfaktoren (IEF) werden in Tabellen schrittweise die Emissionsberechnungen für jährliche Landnutzungsänderungen und die Übergangszeit durchgeführt. Die Tabellen wurden geprüft hinsichtlich:

1. Korrektheit der Berechnungen,
2. Konsistenz in der Zeitreihe,
3. Konsistenz mit den Berechnungen des Vorjahres.

Außerdem kamen folgende Testkriterien zum Einsatz:

Emissionsfaktoren:

- Die Berechnungen der Emissionsfaktoren bzw. impliziten Emissionsfaktoren (IEF) sind korrekt.
- Die Zeitreihe der Emissionsfaktoren ist konsistent; Änderungen von Jahr zu Jahr sind erklärbar.

- Die Emissionsfaktoren sind gleich denen des Vorjahres außer bei Änderungen in Daten und Methoden: neue Emissionsfaktoren sind plausibel. Unterschiede zu denen des Vorjahres sind erklärbar und vollständig dokumentiert.
- Unsicherheiten sind korrekt angegeben und konsistent mit denen des Vorjahres.
- Die Daten sind konsistent zwischen Konventions- (LULUCF) und Kyotoprotokollberichterstattung (KP-LULUCF).

Berechnungen:

- Die Basisberechnungen, die Berechnungen für die jährlichen Landnutzungsänderungen und die Übergangszeit sind korrekt.
- Die Übersichtstabellen, die die Grundlage für die CRF-Tabellen und den Text bilden, sind korrekt.
- Die Emissionsergebnisse sind konsistent mit denen des Vorjahres bzw. Unterschiede aufgrund neuer Daten und Methoden erklärbar.
- Die Berechnungen sind konsistent zwischen Konventions- (LULUCF) und Kyotoprotokollberichterstattung (KP-LULUCF).

Ergebnisse der Qualitätskontrollen:

1. Alle Berechnungen sind korrekt.
2. Die Zeitreihen sind konsistent. Größere Änderungen von Jahr zu Jahr sind ausschließlich bedingt durch die Periodizität der Daten und lineare Interpolationen dazwischen.
3. Es wurden keine unerklärbaren Ausreißer der relativen Differenzen der Emissionen zum Vorjahr gefunden. Alle Änderungen gegenüber dem Vorjahr waren korrekt dokumentiert und sind im Nationalen Inventarbericht enthalten.

Nach Eingabe der Aktivitätsdaten und impliziten Emissionsfaktoren (IEF) in die ZSE-Datenbank (Zentrales System Emissionen) wurde zur Kontrolle ein Abgleich der im ZSE berechneten Emissionen mit den außerhalb der Datenbankumgebung errechneten Emissionsergebnissen durchgeführt. Die Schritte der Qualitätskontrolle und ihre Ergebnisse sind in der Inventarbeschreibung vollständig dokumentiert, die ebenfalls von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert wird.

6.1.3.3 Verifizierung

Für die Erstellung des Inventars im LULUCF-Sektor werden vor allem Daten von Inventuren und Erhebungen verwendet, die ein Alleinstellungsmerkmal in Deutschland aufweisen. Das heißt, es gibt keine vergleichbaren Daten, die es ermöglichen würden, diese zu verifizieren. Darunter zählen beispielsweise die Bundeswaldinventur (BWI), die Bodenzustanderhebungen Wald und Landwirtschaft (BZE), die ATKIS-Daten, die Waldbrandstatistik u.a. , die als Primärstatistiken zur Verfügung stehen. Um die Qualität der Daten zu gewährleisten, haben Inventuren wie zum Beispiel die BWI und BZE eigene umfangreiche Qualitätssicherungen und –kontrollen (siehe auch Kapitel 6.4.4). Alle verwendeten Ergebnisse beinhalten Fehlerangaben, die in die Unsicherheitenberechnung des LULUCF-Inventar einfließen.

Die Ergebnisse bzw. impliziten Emissionsfaktoren (IEF), differenziert nach Kohlenstoffpools und Landnutzungskategorien, wurden mit denen der Nachbarstaaten verglichen. Details dazu finden sich in den jeweiligen Kapiteln „Kategoriespezifische Quslitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung“ der Landnutzungskategorien.

6.1.3.4 Reviews und Reports

2020 wurde das deutsche LULUCF-Inventar von einem Expertengremium des Klimasekretariats sowie speziell die CM- und GM- Berichterstattung durch ein Gutachtergremium der EU begutachtet. Folgende Empfehlungen der Gutachter konnten nun mehr umgesetzt werden:

1. Stratifizierung der perennierenden Ackerlandgehölze
    - Die perennierenden Ackerlandgehölze konnten nun mehr in die Subkategorien Obst, Wein, Hopfen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen differenziert werden. Für jede dieser Subkategorien erfolgt der stratifizierte Einzelnachweis der Flächen und Emissionen auch in den CRF-Tabellen (Kapitel 6.1ff, Kapitel 6.3ff und Kapitel 6.5ff).

2. Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse perennierender Kulturen
    - Implementierung einer neuen Methode, zur vollständigen Erfassung der jährlichen Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse perennierender Kulturen außerhalb des Waldes, differenziert nach Art, Alter und Bewirtschaftung (z.B. Umtriebszeiten, Schnitt, Neubegründung) sowie zur Nachverfolgung der jährlichen Kohlenstoffvorräte an jedem Erhebungspunkt, durch Modellierung der Pflanzenbestandsentwicklung auf Flächen mit perennierenden Gehölzen außerhalb des Waldes, in jedem Entwicklungsstadium. Den Modellen liegen ausschließlich landesspezifische Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren zugrunde, die Berechnung ist vollständig rechnergestützt. Die Methode ermöglicht den vom ERT gewünschten Nachweis der Emissionen zum Zeitpunkt des Auftretens, sogar georeferenziert (Kapitel 6.1.2.3.4).

Dem Wunsch des ERT für die einzelnen perennierenden Ackerland-Subkategorien Kohlenstoffvorräte für Böden auszuweisen, differenziert nach Klima, Bodentyp und Nutzung, kann und darf aufgrund der Datenlage nicht nachgekommen werden. Der Bestimmung der Bodenkohlenstoffvorräte unter perennierenden Ackerlandkulturen liegen die Ergebnisse einer Bodeninventur zugrunde (Jacobs et al.); die so gemessenen Kennwerte für die Böden stellen folglich das Produkt des Einflusses aller Standortfaktoren, Umwelteinflüsse und Bewirtschaftungsmaßnahmen der letzten Jahre an den Erhebungspunkten dar. Die daraus resultierende Datenlage weist zwar für einzelne Subkategorien (Obst und Wein) signifikante Bodenkohlenstoffvorratsunterschiede auf, weshalb diese auch differenziert ausgeführt werden; innerhalb der einzelnen Subkategorien können jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (z.B. Obst: Die Hauptobstanbaugebiete (Norddeutschland "Altes Land", Süddeutschland (Bodenseeregion) liegen in unterschiedlichen Klimazonen und unterschiedlichen Bodenausgangsgesteinsregionen; nichtsdestotrotz gibt es keine signifikanten Bodenkohlenstoffvorratsunterschiede). Daher können innerhalb der Subkategorien keine regionalisierten Werte ausgewiesen werden.

Die vom ERT geforderte Regionalisierung der Bodenkohlenstoff- und Stickstoffvorräte nach boden- und standortkundlich relevanten Faktoren für alle anderen Landnutzungskategorien, konnte aufgrund des hohen Aufwands bei der Ableitung und Validierung sowie Implementierung im Inventarmodell noch nicht fertiggestellt werden.

6.1.4 Geplante Verbesserungsmaßnahmen

Geplant ist die Einführung regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden, in Abhängigkeit standortkundlicher Parameter, sowie deren rechnergestützte Umsetzung (ERT-Forderung: ARR 2020: L.8, Table 5); die Implementierung wird kurzfristig angestrebt.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.2 Definitionen von Landnutzung, Klassifizierungssysteme und ihre Widerspiegelung in den LULUCF-Kategorien

6.2.1 Wälder

Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Wald entspricht den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 4, Chapter 2.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1.

Grundlage der Berichterstattung ist die Walddefinition der Bundeswaldinventur (Polley, 2001):

Wald im Sinne der BWI ist, unabhängig von den Angaben im Kataster oder ähnlichen Verzeichnissen, jede mit Forstpflanzen bestockte Grundfläche. Als Wald gelten auch kahl geschlagene oder verlichtete Grundflächen, Waldwege, Waldeinteilungs- und Sicherungsstreifen, Waldblößen und Lichtungen, Waldwiesen, Wildäsungsplätze, Holzlagerplätze, im Wald gelegene Leitungsschneisen, weitere mit dem Wald verbundene und ihm dienende Flächen einschließlich Flächen mit Erholungseinrichtungen, zugewachsene Heiden und Moore, zugewachsene ehemalige Weiden, Almflächen und Hutungen sowie Latschen- und Grünerlenflächen. Heiden, Moore, Weiden, Almflächen und Hutungen gelten als zugewachsen, wenn die natürlich aufgekommene Bestockung ein durchschnittliches Alter von fünf Jahren erreicht hat und wenn mindestens 50 % der Fläche bestockt sind. In der Flur oder im bebauten Gebiet gelegene bestockte Flächen unter 1.000 m^2, Gehölzstreifen unter 10 m Breite und Weihnachtsbaum- und Schmuckreisigkulturen sowie zum Wohnbereich gehörende Parkanlagen sind kein Wald im Sinne der BWI. Wasserläufe bis 5 m Breite unterbrechen nicht den Zusammenhang einer Waldfläche.

Abweichend zur Walddefinition der BWI wurden Flächen, die dort als Wald zählen, aber als Waldkategorie Nichtholzboden erfasst wurden und somit unbestockt sind, bei der Kohlenstoffvorrats- und -änderungsberechnung als Nichtwald berücksichtigt. Kurzumtriebsplantagen werden bei der BWI separat erfasst, sind aber kein Wald in Sinne der Waldinventur, des Waldgesetzes und des Inventars und werden deshalb unter Ackerland berichtet.

Nach den IPCC 2006 Guidelines bleibt Neuwald 20 Jahre lang in der Neuwald-Kategorie und geht erst dann in die Verbleibkategorie über. Für die Aufforstungsfläche werden Daten ab 1970 berücksichtigt.

6.2.2 Ackerland

Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Ackerland entspricht der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 4, Chapter 3.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1. Die Landnutzungskategorie Ackerland wird, beginnend mit der Submission 2021,in sieben Unterkategorien unterteilt: $Ackerland_{annuell}$, Hopfen-, Obst- und Weinanbauflächen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen sowie Kurzumtriebsplantagen.

Die Subkategorien werden unter CRF 4.B getrennt aufgeführt, bezüglich der Verbleib- und aller Übergangskategorien. Übergänge zwischen den Ackerlandsubkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt und im Tabellenwerk entsprechend berichtet (CRF 4.B.1).

Für die Berechnung der Emissionen werden diese Landnutzungssysteme poolspezifisch stratifiziert:

- Berechnung der Biomassevorräte: Jährlich variable Stratifizierung nach 65 annuellen Kulturarten (Kapitel 6.1.2.3.3) und Dauerkulturen: Hopfen (Kapitel 6.1.2.3.5.6), Obst (Kapitel 6.1.2.3.5.1), Wein (Kapitel 6.1.2.3.5.2), Baumschulen (Kapitel 6.1.2.3.5.3), Weihnachtsbaumkulturen (Kapitel 6.1.2.3.5.4)und Kurzumtriebsplantagen (Kapitel 6.1.2.3.5.5). Der Anteil der Dauerkulturen an der Gesamtfläche des Ackerlands betrug 2020 2,05 %.
- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Stratifizierung nach organischen Böden und Mineralböden, weitergehend unterschieden nach Nutzung (vergl. Kapitel 6.1.2.1 und 6.1.2.2).
- Zuzüglich zur Fläche der organischen Böden unter Ackerland wird die Fläche der offenen Entwässerungsgräben ermittelt.
- Berechnung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen: Jährlich aktualisierte Stratifizierung nach Acker unter verbleibender Nutzung und Land, das in Acker umgewandelt wurde. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3).

6.2.3 Grünland

Grünland im deutschen Inventar entspricht der Definition der 2006 IPCC Guidelines (Vol. 4, Chapter 3.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1.

Grünland wird in zwei Unterkategorien unterteilt, zum einen in mit Gräsern und Kräutern bewachsene Flächen (Grünland im engeren Sinn / Grassland in a strict sense) und mit Gehölzen bestockte Flächen (Gehölze / Woody Grassland), die nicht der Walddefinition unterliegen. Des Weiteren zählt die Objektart 4106 „Sumpf, Ried“ aus dem Basis-DLM (Kapitel 6.3.2.1) dazu, bei der es sich um nicht drainierte organische Böden im Grünland handelt, im Folgenden auch als Nassgrünland bezeichnet. Der Anteil von Grünland i.e.S. an der Fläche des gesamten Grünlands betrug 2020 93,5 % (Mineralböden 79,4 %, organische Böden 14,1 %), der Anteil der Gehölzflächen 6,5 % (Mineralböden 6,2 %, organische Böden 0,3 %).

Die Unterkategorien umfassen folgende Flächennutzung und Pflanzenbestände:

- Wiesen, Weiden, Almen, Hutungen, Heideflächen, naturbelassenes Grünland, Erholungsflächen sowie Sumpf/Ried wurden unter „Grünland im engeren Sinne (Grünland i. e. S.)“ zusammengefasst.
- Hecken, Feldgehölze sowie Strauchbestände bilden die Unterkategorie „Gehölze“.

Übergänge zwischen diesen beiden Unterkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt.

Für die Berechnung der Emissionen werden die beiden Unterkategorien von Grünland poolspezifisch stratifiziert. Dafür werden flächengewichtete mittlere Kohlenstoffvorräte ermittelt, die im Inventar verwendet werden:

Berechnung der Biomassevorräte: Stratifizierung innerhalb der Unterkategorien nach Kulturarten. Für Grünland i.e.S. sind dies ober- und unterirdische Biomasse von Gräsern bzw. krautigen Pflanzen (Kapitel 6.6.2.2); für Gehölze wurde ein Modell zur Berechnung der Biomasse für Heckenpflanzen und Feldgehölze entwickelt, in Abhängigkeit vom Alter und Umtriebszyklen, Wuchsdichte und -höhe (Kapitel 6.1.2.3.6).

- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Stratifizierung nach organischen Böden und Mineralböden, weitergehend unterschieden nach Nutzung.
    - Emissionen aus organischen Böden werden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand berichtet. (vergl. Kapitel 6.1.2.2). Außerdem wurde die Fläche der Entwässerungsgräben abgeschätzt.
- Berechnung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen: jährlich aktualisierte Stratifizierung nach Grünland i.e.S. und Gehölze unter verbleibender Nutzung und Land, das in Grünland umgewandelt wurde. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3).

6.2.4 Feuchtgebiete

Nach den 2006 IPCC Guidelines müssen in der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete alle Landflächen subsummiert werden, deren Böden zeitweise oder das ganze Jahr wassergesättigt oder mit Wasser bedeckt sind und die nicht unter die Landnutzungskategorien 4.A, 4.B, 4.C und 4.E fallen. Diese Flächen werden im deutschen Inventar in den Unterkategorien terrestrische Feuchtgebiete (IPCC: Other Wetlands) und Gewässer (IPCC: Flooded Land) zusammengefasst. Des Weiteren werden unter der Landnutzungskategorie Wetlands alle Flächen, die im Zusammenhang mit Torfabbau stehen, in einer weiteren Unterkategorie zusammengefasst (IPCC: Peat Extraction; vergl. 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006b)). Diese Torfabbauflächen und deren Veränderung in der Zeit werden räumlich explizit erfasst und ausgewiesen.

In Deutschland ist der Großteil der ehemaligen Feuchtgebietsflächen drainiert (>90%), unterliegt hauptsächlich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung oder findet sich in Siedlungsgebieten. 2020 waren dies 1.673 kha ≙ 91,8 % der Gesamtfläche organischer Böden. Gemäß der 2006 IPCC Guidelines werden diese somit in den entsprechenden Landnutzungskategorien (CRF 4.A - 4.C und 4.E) berichtet. In der Unterkategorie terrestrische Feuchtgebiete finden sich daher nur die wenigen, vom Menschen weniger beeinflussten, wenig drainierten und naturnahen Moorstandorte und sonstigen Feuchtgebiete auf mineralischen Böden sowie die Torfabbauflächen. In der Unterkategorie Gewässer wird ebenfalls nach dem Grad der anthropogenen Beeinflussung zwischen „überflutetem Land“[99] , sowie „nicht regulierten“ und „regulierten natürlichen Gewässern“ unterschieden (nicht berichtspflichtig). regulierten“ und „regulierten natürlichen Gewässern“ unterschieden (nicht berichtspflichtig). Tabelle 353 verdeutlicht die nach diesen Vorgaben ermittelte Zuordnung der unter die Kategorie Feuchtgebiete fallenden Flächen Deutschlands für das Jahr 2020.

[99] Wasserkörper, die durch menschliche Aktivitäten reguliert werden und starke Wasserstandsschwankungen bzw. Änderungen im Flächenbedeckungsgrad aufweisen (Staubecken usw.) (2006 IPCC Guidelines)

Tabelle 353: Unterteilung der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete gemäß 2006 IPCC Guidelines sowie Zuordnung der Gewässer- und terrestrischen Feuchtgebietsflächen [ha] Deutschlands in die entsprechenden Unterkategorien für das Jahr 2020.

<table>
<tr><th colspan="8">4.D Feuchtgebiete
[741.863ha]</th></tr>
<tr><th colspan="4">Terrestrische Feuchtgebiete
[128.428 ha]</th><th colspan="2">Torfabbau
[17.720 ha]</th><th colspan="2">Gewässer
[595.715 ha]</th></tr>
<tr><td colspan="2">Mineralböden
[19.802 ha]</td><td colspan="2">Organische Böden
[108.626 ha]</td><td colspan="2">Organische Böden
[17.720 ha]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">nicht drainiert
[19.802 ha]</td><td colspan="2">drainiert [96.569 ha] /
nicht drainiert [12.057 ha]</td><td colspan="2">drainiert
[17.720 ha]</td></tr>
<tr><td>Verbleibend
[19.340 ha]</td><td>Verändert
[462 ha]</td><td>Verbleibend inkl. alle nicht drainierten
[104.835 ha]</td><td>Verändert (drainiert)
[2.477 ha]</td><td>Ver-bleibend
[17.287ha]</td><td>Ver-ändert
[433 ha]</td><td>Verbleibend
[591.821 ha]</td><td>Verändert
[3.894 ha]</td></tr>
<tr><td colspan="2">Natürliche und naturnahe Feuchtgebiete (z.B. Sümpfe, Fluss- und Bachläufe)</td><td>Natürliche und naturnahe Moore (z.B. Torfgebiete, Niedermoore)</td><td>Naturnahe Moore</td><td colspan="2">Torfabbaugebiete</td><td colspan="2">Natürliche und künstliche stehende und fließende Gewässer</td></tr>
<tr><td>Keine Emissionen</td><td>Emissionen aus Mineral-böden, Biomasse</td><td>Emissionen aus organischen Böden, Biomasse</td><td>Emissionen aus organischen Böden, Biomasse</td><td colspan="2">Emissionen aus on-site, off-site</td><td>Keine Emissionen</td><td>Emissionen aus Biomasse</td></tr>
</table>

Das Emissionsverhalten der Unterkategorien Torfabbau, Terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer ist unterschiedlich ausgeprägt. Daher werden sie als eigenständige Unterkategorien geführt und in den CRF-Tabellen (4.D und 4.(II)) getrennt berichtet (Details siehe Kapitel 6.3). Die Berechnung der Landflächen erfolgt für die Landnutzungskategorie Feuchtgebiete durch eine jährlich aktualisierte Stratifizierung nach Terrestrischen Feuchtgebieten, Gewässern und Torfabbauflächen umgewandelt wurde. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.3). Umwandlungen zwischen den Subkategorien werden wie Landnutzungsänderungen aus anderen Landnutzungskategorien behandelt.

Für die Berechnung der Emissionen werden die Unterkategorien Torfabbau, Terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer, poolspezifisch stratifiziert. Dafür werden flächengewichtete mittlere Kohlenstoffvorräte ermittelt, die im Inventar verwendet werden:

Verbleibkategorie:

- Berechnung der Biomassevorräte: In den Unterkategorien Gewässer und Torfabbau kommt keine Biomasse vor. Für die Unterkategorie Terrestrische Feuchtgebiete wurde die Biomasse aus den Werten für Grünland i.e.S. und Gehölzen hergeleitet (Kapitel 6.1.2.3.7).
- Berechnung der Emissionen aus Mineralböden: Für Gewässerflächen werden keine Bodenkohlenstoffvorräte ausgewiesen; Torfabbauflächen finden sich ausschließlich auf organischen Böden. Im Tabellenwerk werden sie als „not occuring“ (NO) aufgeführt. Für die Unterkategorie Terrestrische Feuchtgebiete werden die Emissionen aus Mineralböden aus Werten für Grünland i.e.S. hergeleitet (Kapitel 6.1.2.1.7).
- Berechnung der Emissionen aus organischen Böden: Für die Torfabbauflächen werden on-site- und off-site-Emissionen (Kapitel 6.7.2) berechnet, gemäß 2006 IPCC Guidelines bzw. 2013 IPCC Supplement Wetland. Die Unterkategorie Terrestrische Feuchtgebiete wird in nasse (Grundwasserflurabstand < 0,1 m) und drainierte Flächen (Grundwasserflurabstand > 0,1 m) unterteilt (vergl. Kapitel 6.1.2.2); es werden on-site Emissionen berichtet; für die Unterkategorie Gewässer werden keine Emissionen berichtet.

Übergangskategorien:

- Berechnung der Biomassevorräte: Bei Landnutzungsänderungen zu Gewässern wird der Biomassevorrat auf Null gesetzt. Für die Unterkategorie terrestrische Feuchtgebiete wurde die Biomasse aus den Werten für Grünland i.e.S. und Gehölzen hergeleitet (Kapitel 6.1.2.3.7).
- Berechnung der Emissionen aus Böden: In der Unterkategorie Gewässer treten keine Emissionen auf; für die terrestrischen Feuchtgebiete wird zeitlich konstant nach organischen Böden und Mineralböden unterschieden. Für organische Böden werden on-site Emissionen berichtet in Abhängigkeit vom Wasserstand (Kapitel 6.1.2.2). Mineralbodenemissionen treten nur in der Subkategorie Terrestrische Feuchtgebiete auf, da Torfabbauflächen per Definition keine Mineralböden aufweisen.

6.2.5 Siedlungen

Die Beschreibung der nationalen Landnutzungssysteme im Zusammenhang mit Siedlung und Verkehr, sowie deren Zuordnung zur IPCC-Landnutzungskategorie Siedlungen sind in Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1 dargestellt. Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Siedlung entspricht der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 4, Ch. 2.2). Die gesamte Siedlungsfläche wurde in einer Kategorie zusammengefasst.

Siedlungsbereiche weisen erhebliche Anteile an unversiegelten, mit Vegetation bedeckten Fächen auf. Stichprobenuntersuchungen haben ergeben, dass der Anteil der überbauten und versiegelten Fläche an der ausgewiesenen Siedlungs- und Verkehrsfläche Deutschlands zwischen 40–50 % beträgt (BKG, 2015; Einig et al., 2009). Daher wird die unversiegelte, i.d.R. begrünte Fläche im deutschen Inventar im Mittel auf 50 % der Siedlungsfläche festgelegt.

Weitere Erhebungen zeigen, dass Verkehrswege 30 – 40 % der versiegelten Fläche bilden; folglich entfallen 60 – 70 % auf Gebäude bzw. sonstige Bauwerke (BKG, 2015; Statistisches Bundesamt, FS 3, R 5.1). Dies gilt für alle Bundesländer mit Ausnahme der Stadtstaaten; hier beträgt der Anteil der Verkehrsflächen nur ca. 22 %; bundesweit waren es 2018 35 % (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 5.1). Aufgrund dieser Erkenntnisse wird für Siedlungsflächen im deutschen Inventar daher folgende Landbedeckung unterstellt:

- 50 % unversiegelte Flächen (z.B. Parks, Hausgärten, Kleingartenanlagen, Rekreationsräume, Straßenbegleitgrün etc.)
- 17,5 % Verkehrsflächen (z.B. Straßen, Wege, Plätze, Parkflächen etc.)
- 32,5 % Flächen mit Bauwerken (z.B. Wohn- und Geschäftshäuser, Industriebauten, Produktionsstätten, Lagerhallen etc.)

Für die Berechnung der Emissionen wird in der Landnutzungskategorie poolspezifisch stratifiziert. Dafür werden flächengewichtete mittlere Kohlenstoffvorräte ermittelt, die im Inventar verwendet werden:

- Berechnung der Biomassevorräte: Für die Kategorie Siedlungen wurde die Biomasse aus den Werten für Grünland i.e.S. und Gehölzen hergeleitet (Kapitel 6.1.2.3.7).
- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Unterscheidung nach organischen und Mineralböden. Die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden werden in Abhängigkeit von der Landnutzung aus den Daten der Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft abgeleitet unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versiegelungsgrade (vergl. Kapitel 6.1.2.1). Für die organischen Böden werden als Proxy die Werte des Grünlands i.e.S. herangezogen (Kapitel 6.1.2.2).

- Berechnung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen: Eine jährlich aktualisierte Stratifizierung nach verbleibender Nutzung und Land, das in Siedlungen umgewandelt wurde, wurde angewandt. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3).

6.2.6 Sonstiges Land

Folgende im ATKIS® ausgewiesenen Objektarten werden im deutschen Berichtssystem, gemäß der 2006 IPCC Guidelines, der Kategorie „Other Land“ zugeordnet: „Vegetationslose Fläche“ (AAA_Ob.-Nr. 43007) und „Fläche z.Z. unbestimmbar“ (AAA_Ob.-Nr. 43008). Beschreibung und Zuordnung der Flächen erfolgte nach Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1 und den dort beschriebenen Algorithmen.

6.3 Informationen zu den für die Ermittlung der Landflächen gewählten Ansätzen und zu den verwendeten Landnutzungs-Datenquellen

6.3.1 Einleitung

Die Methodik zur Erfassung von Landnutzungsänderungen im LULUCF-Sektor berücksichtigt zeitlich und räumlich konsistent alle Landnutzungen und Landnutzungsänderungen, getrennt für organische und mineralische Böden. Zur Anwendung kommt ein stichprobenbasiertes System. Die angewandte Methode beruht auf räumlich expliziten Beobachtungen und ist damit nach den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 4 Kapitel 3.3.1) als „approach 3“ einzustufen. Entscheidungsgründe, die zur Anwendung des stichprobenbasierten Systems führten, sind in Freibauer et al., 2017 aufgeführt.

Das Stichprobensystem basiert ab der Submission 2020 auf einem regelmäßigen Raster von Stichprobenpunkten mit einem Abstand von 100 m x 100 m, welches über die Gesamtfläche Deutschlands gelegt wurde. Das gewählte Raster orientiert sich am Basis-DLM, welches als genauester zur Verfügung stehender Datensatz für Deutschland Flächen ab einer Größe von 1 ha aufnimmt. Es ergeben sich demnach 35.790.122 Stichprobenpunkte. Dies ermöglicht gegenüber dem Raster früherer Submissionen (528.223 Punkte) eine deutliche Verbesserung in der Genauigkeit der Ausweisung von Landnutzung und Landnutzungsänderung auf organischen und mineralischen Böden in allen Landnutzungskategorien.

6.3.2 Datengrundlage und -aufbereitung

Die Herleitung der Landnutzungsmatrix (LUM) basiert auf dem Basis-DLM, wo notwendig ergänzt um weitere Datensätze (siehe Kapitel 6.3.2.1). Zur Nutzung einer Datenquelle müssen die durch Interpretation oder Modellierung zugewiesenen Landnutzungsklassen in die IPCC-Landnutzungskategorien überführbar sein. Dabei muss nicht jeder Datensatz alle Landnutzungskategorien ausweisen; mindestens eine der sechs Landnutzungskategorien ist ausreichend. Die Landnutzungsinformationen der verschiedenen Datensätze werden durch die geografische Lage den Stichprobenpunkten zugeordnet und somit stehen für jeden Stichprobenpunkt über die Zeit verteilte Informationen zur Verfügung.

Das Ziel dieses flexiblen Erfassungssystems ist es nicht, Landnutzungsänderungen möglichst häufig zu erfassen, sondern:

- aus der Menge an Informationen, die zuverlässigsten Landnutzungsinformationen zuzuweisen,
- Landnutzungsänderungen herauszufiltern und zu erfassen, sowie
- mögliche Unsicherheiten und Fehlerquellen zu eliminieren.

6.3.2.1 Datenquellen

Es wurden folgende Datenquellen/-sätze genutzt:

- Basis- Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM) zu den Zeitpunkten 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020
- Karte organischer Böden Deutschlands
- OpenStreetMap aus dem Jahr 2013 (© OpenStreetMap-Mitwirkende)
- Corine Land Cover (CLC) 1990, 2000
- Digitales Landbedeckungsmodell (LBM-DE) zum Zeitpunkt 2012(LBM12)

Dabei entstammen die Landnutzungsinformationen überweigend aus dem Basis-DLM. Am Beispiel 2018: 98,5 % aus dem Basis-DLM und 1,5 % aus dem OpenStreetMap. Informationen über 106 ha (0,0003 % der Punkte) wurden dem LBM12 entnommen.

Basis-DLM

Das Basis-Digitale Landschaftsmodell (Basis-DLM) ist die Grundlage des Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS®) Deutschlands der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV). Das ATKIS® beschreibt die Oberfläche Deutschlands mit digitalen Landschafts- und Geländemodellen:

„Das Basis-DLM beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft und das Relief der Erdoberfläche im Vektorformat. Die Objekte werden einer bestimmten Objektart zugeordnet und durch ihre räumliche Lage, ihren geometrischen Typ, beschreibende Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten (Relationen) definiert. Jedes Objekt besitzt deutschlandweit eine eindeutige Identifikationsnummer (Identifikator). Die räumliche Lage wird für das Basis-DLM maßstabs- und abbildungsunabhängig im Koordinatensystem der Landesvermessung angegeben. Welche Objektarten das DLM beinhaltet und wie die Objekte zu bilden sind, ist im ATKIS®-Objektartenkatalog (ATKIS®-OK) festgelegt“ (AdV). Der Informationsumfang des Basis-DLM orientiert sich am Inhalt der Topographischen Karte 1:25.000, weist jedoch eine höhere Lagegenauigkeit (± 3m) für die wichtigsten punkt- und linienförmigen Objekte auf. Die Daten der Basis-DLM der Länder werden vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) übernommen und für ein bundeseinheitliches Basis-DLM geprüft, harmonisiert, georeferenziert, blattschnittfrei aufbereitet und für die Abgabe an Bundesbehörden und andere in einer Datenbank verwaltet.

Der Zweck des ATKIS® ist die Bereitstellung eines möglichst aktuellen und hochauflösenden Landschaftsmodells (Landbedeckung) für Deutschland, dessen Geometrien und Inhalte regelmäßig aktualisiert und erweitert werden. Die Vermessungsverwaltungen der Bundesländer erheben die Daten fortlaufend und nicht bundesweit zu einem Stichtag. Somit werden neue Vermessungsergebnisse laufend an das BKG übermittelt und in das ATKIS® eingepflegt. Die Vorgabe für eine komplette Überarbeitung ist fünf Jahre, wird von den Bundesländern aber sehr unterschiedlich gehandhabt. In der Praxis liegt die Aktualität bei Vegetationsflächen zwischen einem und sieben Jahren; für Flächen mit sehr hoher Aktualität, insbesondere was Flächenänderungen betrifft, z.B. Siedlungs- und Verkehrsflächen, wird eine Transferzeit in das ATKIS® von drei bis zwölf Monaten angegeben. Das BKG pflegt immer nur die aktuelle Version des Basis-DLM. Es wird keine Historie aufgezeichnet, noch werden alte Versionen archiviert.

Das bedeutet für die Berichterstattung am Thünen-Institut:

- Jährlicher Bezug des Basis-DLM für die jeweiligen Berichtsjahre (September) und
- Archivierung der Version des jeweiligen Jahres institutsintern.

Die Basis-DLM-Datensätze liegen dem Thünen-Institut erst seit 2005 auf jährlicher Basis vor, sowie ein Datensatz für das Jahr 2000. Für die Jahre vor 2000 existieren keine ATKIS®–Daten. Wegen der mehrjährigen Überarbeitungszyklen werden Basis-DLM-Datensätze im Abstand von fünf Jahren verwendet, um regionale Artefakte von scheinbar plötzlichen Schüben der Landnutzungsänderungen im Aktualisierungsjahr zu vermeiden.

Ab 2009 wurde das Basis-DLM auf ein neues Datenmodell umgestellt, im Weiteren als „Basis-DLM (ab 2013)" bezeichnet. In den Jahren 2009 bis 2012 lieferten einige Bundesländer im alten Modell und einige im neuen, seit 2013 gibt es das Basis-DLM (ab 2013) für ganz Deutschland.

Das Basis-DLM (bis 2012) besteht aus etwa 800 einzelnen Layern pro Datensatz, welche sich in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden. So liegen bspw. Polygone mit geringer Detailschärfe (z.B. Siedlungsfläche) zuunterst; Polygone mit sehr hohem Detaillierungsgrad (z.B. Wohngebiet) zuoberst. Daraus resultieren zahlreiche mehrfach übereinander liegende Polygone in einem Datensatz, welche jedoch inhaltlich den gleichen LULUCF-Kategorien zugeordnet werden können. Dieser gesamte Inhalt wird mit allen Überlagerungen eingelesen. Dadurch gibt es nur noch dort Datenlücken, wo im gesamten Basis-DLM keine Daten vorhanden sind. Anschließend werden die Flächen mit den Punkten des THG-Stichprobenrasters verschnitten. Bei Punkten, die mehrere übereinander liegende Flächen treffen, wird mit Hilfe einer Prioritätenliste nur ein Wert übernommen. Wenn gleiche Prioritäten überlagern (z.B. Vegetation mit Vegetation), dann wird die Fläche mit der niedrigeren ATKIS® eigenen Identifikation gewählt. Dieses Verfahren wurde für das Basis-DLM (bis 2012) aus den Jahren 2000, 2005, 2010 durchgeführt. Die Kategorien des Basis-DLM (bis 2012) werden über eine Schlüsseltabelle den LULUCF-Kategorien zugeordnet (siehe Tabelle 354).

Das neue Datenmodell (Basis-DLM (ab 2013)) bietet einen Layer „Tatsächliche Nutzung“. „Alle Objektarten dieses Objektartenbereichs nehmen an der lückenlosen, überschneidungsfreien und flächendeckenden Beschreibung der Erdoberfläche teil (Grundflächen).“ Dadurch gibt es kaum noch Flächen, die übereinander liegen. Grundsätzlich hat sich die Qualität der Daten deutlich verbessert: Während nach dem Verwenden aller Flächen aus dem Basis-DLM (bis 2012) noch etwa 0,05 % der Punkte keine Information aus dem Basis-DLM zugewiesen werden konnte, sind es mit dem Basis-DLM (ab 2013) nur noch 0,0003 %. Die Kategorien des Basis-DLM (ab 2013) werden über eine Schlüsseltabelle den LULUCF-Kategorien zugeordnet (siehe Tabelle 354).

Karte organischer Böden Deutschlands

Die Karte organischer Böden Deutschlands ist eine durch die Humboldt-Universität zu Berlin erstellte Karte im Maßstab 1:25.000, die organische Böden entsprechend der IPCC-Definition sowie ihre Kohlenstoffvorräte ausweist (Roßkopf et al., 2015). Sie wird in der Landnutzungserkennung verwendet, um Mineralböden und organische Böden zu unterscheiden.

OpenStreetMap® (OSM)

Aus dem Basis-DLM konnte die Flächeninformation zum deutschen Straßennetz nicht abgeleitet werden. Daher wurde diese aus der freien Weltkarte OpenStreetMap extrahiert. Das Projekt OpenStreetMap begann als reine Straßenkarte. Inzwischen ist es die größte freie Geodatenbank der Welt (siehe auch www.openstreetmap.org). Die Linienelemente des Straßennetzes wurden anhand der Kategorie der jeweiligen Straße mit einem entsprechend breiten Buffer versehen ; so wurde ein Layer mit Verkehrsflächen generiert, welcher mit dem Punktgitter verschnitten wurde.

CORINE Land Cover Daten (CLC)

CORINE Land Cover (CLC) ist ein europäisches Fernerkundungsprojekt zur einheitlichen Klassifikation der Landnutzung und Landnutzungsänderung, welches von der EU-Kommission

Mitte der 1980er Jahre initiiert wurde. Digitale Satellitenbilder europäischer Staaten werden gesammelt und hinsichtlich Änderungen in der Flächennutzung einheitlich ausgewertet. Es stehen Daten der vier Aufnahmezeitpunkte 1990, 2000, 2006 und 2012 zur Verfügung. Mit Hilfe einer Übersetzungstabelle wurden die CORINE-Klassen den LULUCF-Kategorien zugeordnet (siehe auch Tabelle 354). CLC wird ausschließlich für die Ableitung der Landnutzung 1990 verwendet, da vor 2000 keine anderen deutschlandweiten Daten verfügbar sind.

Landbedeckungsmodell (LBM)

Das LBM wird vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) herausgegeben und ist entstanden, um Corine Land Cover für Deutschland aus dem Basis-DLM abzuleiten. Die Geometrien vom Basis-DLM werden mit Hilfe von Satellitenaufnahmen überprüft und aktualisiert, dadurch entsteht ein lückenloser Datensatz der Landbedeckung mit hoher Aktualität und hoher Qualität. Das erste LBM stammt von 2012 und erschien im Frühjahr 2016, Anfang 2019 erschien das LBM 2015. Aus zwei Gründen ist das LBM nur bedingt mit dem Basis-DLM vergleichbar: 1. nimmt das Basis-DLM Landnutzung und das LBM Landbedeckung auf, 2. hat das Basis-DLM eine fortlaufende Aktualisierung über mehrere Jahre und das LBM eine jahresgenaue Aufnahme.

Zuordnungschlüssel zwischen Datenquellen- und IPCC-Kategorien

Die unterschiedlichen Definitionen für Landnutzung der zugrunde liegenden Datenquellen wurden den LULUCF-Berichtskategorien zugeordnet (Tabelle 354).

Im Basis-DLM wurde der Objektartenkatalog mit der Einführung des neuen AAA-Modells verändert, deswegen gibt es ab 2013 eine neue Zuordnungstabelle. Den sechs IPCC Landnutzungskategorien werden den Objektarten aus dem Basis-DLM (AAA-Ebenen) des ATKIS® direkt zugeordnet (Tabelle 354).

Bei der Erstellung der Landnutzungsmatrix erfolgt die Zuordnung der Rasterpunkte rechnergestützt und vollautomatisch mittels dafür erstellter Programme. Die Zuordnungsschlüssel dieser Klassifizierungssysteme sind zu diesem Zweck digital hinterlegt, so dass stets eine eineindeutige Zuordnung eines Rasterpunktes zu einer Objektartenschlüsselnummer und somit zu einer Landnutzungskategorie führt, unabhängig von der Datenquelle. Die Scripte für diese Programme werden in der Inventarbeschreibung vorgehalten.

Tabelle 354: Zuordnung von Hauptobjektartenschlüsselnummern und Attributen des ATKIS® zu den IPCC-Landnutzungskategorien

ATKIS® Objektartenkatalog					CORINE Land Cover
Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA-Ebenen	Objektnummer Ebenen	Objekttyp	Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	Nomenklatur-Code
IPCC-Kategorie: Wald					
43002	VEG Alle	4107	Wald	Laub-, Nadel- und Mischwald	311; 312; 313; 324

ATKIS® Objektartenkatalog					CORINE Land Cover
Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA-Ebenen	Objektnummer Ebenen	Objekttyp	Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	Nomenklatur-Code
IPCC-Kategorie: Ackerland					
43001	VEG 1010	4101	Landwirtschaft: Ackerland	Fläche für den Anbau von Feldfrüchten (z.B. Getreide, Hülsenfrüchte, Hackfrüchte) und Beerenfrüchten (z.B. Erdbeeren). Zum Ackerland gehören auch die Rotationsbrachen, Dauerbrachen sowie Flächen, die zur Erlangung der Ausgleichszahlungen der EU stillgelegt worden sind.	211; 212
43001	VEG 1012	4109	Landwirtschaft: Hopfen	Hopfen ist eine mit speziellen Vorrichtungen ausgestattete Agrarfläche für den Anbau von Hopfen.	keine Zuordnung
43001	VEG 1030	4103	Landwirtschaft: Gartenland	Gartenland ist eine Fläche für den Anbau von Gemüse, Obst und Blumen sowie für die Aufzucht von Kulturpflanzen.	242
43001	VEG 1031	4109	Landwirtschaft: Baumschule	Baumschule ist eine Fläche, auf der Holzgewächse aus Samen, Ablegern oder Stecklingen unter mehrma-ligem Umpflanzen (Verschulen) gezogen werden	keine Zuordnung
43001	VEG 1031	4109	Landwirtschaft: Weihnachtbaumkultur	Weihnachtsbaumkultur bezeichnet eine landwirtschaftliche Fläche, die vorrangig mit Weihnachtsbäumen bepflanzt ist.	keine Zuordnung
43001	VEG 1031	4109	Landwirtschaft: Kurzumtriebsplantage	Kurzumtriebsplantagen sind Flächen, auf denen Baumarten mit dem Ziel baldiger Holzentnahme angepflanzt werden und deren Bestände eine Umtriebszeit von nicht länger als 20 Jahren haben	keine Zuordnung
43001	VEG 1040	4109	Landwirtschaft: Weingarten	Weingarten	221
43001	VEG 1050	4109	Landwirtschaft: Obstplantage	Obstplantage	222
IPCC-Kategorie: Grünland					
43001	VEG 1020	4102	Landwirtschaft: Grünland	Grünland ist eine Grasfläche, die gemäht oder beweidet wird.	231; 321;421
43004		4104	Heide	Heide ist eine meist sandige Fläche mit typische Sträuchern, Gräsern und geringwertigem Baumbestand.	322
43006		4106	Sumpf Grünland i.e.S.	Sumpf ist ein wassergesättigtes, zeitweise unter Wasser stehendes Gelände. Nach Regenfällen kurzzeitig nasse Stellen werden nicht als Sumpf erfasst.	411
43007	FKT 1300		Unland und Vegetationslose Fläche: Naturnahe Fläche	Naturnahe Fläche ist eine nicht zum Anbau von Kulturpflanzen genutzte Fläche, die mit Gras, Wildkräutern und anderen Pflanzen bewachsen ist.	keine Zuordnung
43003		4108	Gehölz	Fläche, die mit einzelnen Bäumen, Baumgruppen, Büschen, Hecken und Sträuchern bestockt ist.	243
43007	FKT 1200		Unland und Vegetationslose Fläche: Sukzessionsfläche	Sukzessionsfläche ist eine Fläche, die dauerhaft aus der landwirtschaftlichen oder sonstigen bisherigen Nutzung herausgenommen ist und die in den Urzustand z. B. Gehölz, Moor, Heide übergeht.	keine Zuordnung

ATKIS® Objektartenkatalog						CORINE Land Cover
Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA-Ebenen	Objektnummer Ebenen	Objekttyp		Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	Nomenklatur-Code
IPCC-Kategorie: Feuchtgebiete						
43005		4105	Moor	terrestrische Feuchtgebiete	Unkultivierte Fläche, deren obere Schicht aus vertorften oder zersetzten Pflanzenresten besteht	412
41005	AGT 4010	2301	Tagebau: Torfabbau			keine Zuordnung
44001 bis 44007		5101 - 5203, 3402	Gewässer		z.B. Stauseen, Flüsse ab 12 m Breite, Kanäle, Speicherbecken, veränderliche Ufer. 3402 sind Hafenbecken und somit Gewässer und nicht Siedlung (In AAA 44005).	511; 512; 423; 521; 522; 523
IPCC-Kategorie: Siedlungen						
41001 bis 41010		2101-2352	Siedlung		Siedlung beinhaltet die bebauten und nicht bebauten Flächen, die durch Ansiedlung von Menschen geprägt werden oder zur Ansiedlung beitragen.	111; 112; 121; 131; 132; 133; 141; 142
42001 bis 42016		3101-3543	Verkehr		Verkehr enthält die bebauten und nicht bebauten Flächen, die dem Verkehr dienen.	122; 123; 124
43007	FKT 1100		Unland und Vegetationslose Fläche: Gewässerbegleitfläche		Gewässerbegleitfläche bezeichnet eine bebaute oder nicht bebaute Fläche, die einem Fließgewässer zugeordnet wird.	122; 123; 124
IPCC-Kategorie: Sonstiges Land						
43007	FKT 1000	4120	Unland und Vegetationslose Fläche: Vegetationslose Fläche		Fläche ohne nennenswerten Bewuchs aufgrund besonderer Bodenbeschaffenheit wie z.B. nicht aus dem Geländerelief herausragende Felspartien, Sand- oder Eisflächen.	331; 332; 333; 334; 335
43008		4199	Fläche z.Z. unbestimmbar		Fläche, deren Merkmale hinsichtlich der Zuordnung zu den Objektarten gegenwärtig nicht bestimmt werden können.	keine Zuordnung

6.3.2.2 Ableiten der LULUCF-Informationen

Das THG Stichprobenraster wird mit den beschriebenen Karten verschnitten und jedem Punkt werden alle relevanten Informationen aus den Karten zugeordnet. Anschließend durchläuft jeder Punkt einen Entscheidungsbaum, wo ab dem Jahr 2000 grundsätzlich die Information aus dem Basis-DLM verwendet wird. Nur wenn die Information im Basis-DLM nicht verfügbar ist, wird sie den anderen Karten entnommen.

Die Ergebnisse für Wald wurden mit den Zahlen der Bundeswaldinventur (BWI) verglichen. Das Basis-DLM nimmt auch baumbewachsene Flächen auf, die nicht zwangsläufig der in der Berichterstattung zugrunde gelegten Walddefinition der BWI entsprechen. Dennoch war die Übereinstimmung der Waldfläche aus beiden Datensätzen in der Regel ausgezeichnet; Unterschiede waren kleiner 1 %, so dass das Ergebnis der Flächen als konsistent zur Walddefinition der Berichterstattung angesehen werden kann.

Das Basis-DLM (bis 2012) wurde schrittweise bis 2008 erweitert, was dazu führt, dass die Erhebungen vor 2008 weniger umfangreich sind. Das wirkt sich auf zwei Kategorien aus: Die Flächen für Torfabbau sind vor 2008 unvollständig (also zu gering) und die Aufteilung der Sonderkulturen in die Klassen Hopfen, Wein, Obstbäume und Baumschulen war vor 2008 unzureichend. Für den Torfabbau wurden die Erhebungen vor 2008 mit Basis-DLM 2008 gleichgesetzt, also bekamen alle Punkte, die im Basis-DLM 2008 Torfabbau hatten, diese Landnutzung auch für 2005, 2000 und 1990 zugeordnet. Ähnlich wird bei den Sonderkulturen vorgegangen: Alle Punkte, die vor 2008 als Sonderkultur aufgenommen wurden, bekommen nun die konkrete Sonderkultur, also Hopfen, Wein, Obstbäume oder Baumschule zugeordnet. In den Fällen, wo ein Punkt vor 2008 eine Sonderkultur hatte, 2008 aber nicht mehr, wurde ihm in den

meisten Fällen die Klasse mit der höchsten Biomasse (Baumschule) zugeordnet, um konservativ zu rechnen. In den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Hessen, wo viel Wein angebaut wird, wurde diesem Punkt Wein als Sonderkultur zugewiesen.

Grundsätzlich problematisch ist die Ableitung von Landnutzung und Landnutzungsänderungen von 1990 zu 2000. Da vor 2000 keine Basis-DLM-Daten verhanden sind, muss Corine Land Cover (CLC) für 1990 verwendet werden, womit ein Wechsel in der Datengrundlage von 1990 zu 2000 (CLC zu Basis-DLM) unumgänglich ist. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 1 Ch. 5.3.3) empfehlen für diesen Fall den "Overlap Approach". Daher wurde die ältere Datenreihe (CLC) mittels der Überlappung an die neuere Datenreihe (Basis-DLM) angeglichen. Im Ergebnis bedeutet dies eine Rückwärtsextrapolation der Basis-DLM-Daten für 2000 mit dem Trend aus den CLC-Daten für 1990 und 2000.

Entsprechend den 2006 IPCC Guidelines werden für die Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention bereits Flächennutzungsänderungen seit 1970 berücksichtigt. Damit werden die Übergangskategorien bereits mit Flächendaten gefüllt, so dass sie ab 1990 einen stabilen dynamischen Zustand mit Zugängen von neuen Umwandlungsflächen und Abgängen von Flächen in die Verbleibkategorie erreichen. Da für Deutschland erstmals zum Zeitpunkt der BWI 1987 georeferenzierte Daten zur Verfügung stehen, wurden die Veränderungen aller Landnutzungskategorien der Periode 1990-2000 bis zum Jahre 1970 rückwirkend extrapoliert, da bundesweit für den Zeitraum vor 1990 keine vollständigen und vor allem keine zueinander konsistenten Datensätze zur Verfügung stehen. Dies entspricht z.B. dem Vorgehen der Tschechischen Republik und Österreichs für die Landnutzungsmatrix.

6.3.3 Fehlerbetrachtung

Bei der verwendeten Stichprobenmethode lassen sich verschiedenen Fehlerquellen unterscheiden, wie:

- der Stichprobenfehler,
- Definitionsunterschiede,
- voneinander unterschiedliche Minimum Mapping Units und
- Fehler bei der Georeferenzierung der Datensätze.

Die Fehlerquellen Definitionsunterschiede, unterschiedliche Minimum Mapping Units und ungenaue Georeferenzierung können nicht quantifiziert werden und nur der Stichprobenfehler wird in die Unsicherheitsbetrachtung einbezogen.

6.3.4 Schrittweise Implementierung

Die vollständige Umsetzung des hier beschriebenen Systems zur zeitabhängigen Erfassung der Landnutzung und -änderungen für ganz Deutschland erfordert umfangreiche Vor- aber auch ständige Begleitarbeiten. So müssen:

- die verschiedenen Datenmaterialien für unterschiedliche Zeitpunkte akquiriert werden,
- geometrische Korrekturen (defekte Geometrien, etc.) bzw. Kontrollen durchgeführt werden,
- Konvertierungsfunktionen geschrieben werden, um die Ursprungsklassifizierung in die verwendete Kategorisierung zu überführen,
- die Stichprobenpunkte mit den Kartenwerken verschnitten werden,
- der Entscheidungsbaum programmiert und je nach Datenlage angepasst werden und
- die „Transition Time“-Prozeduren programmiert und je nach Datenlage angepasst werden.

Die Entscheidung für dieses flexible, stichprobenbasierte System wurde in Abstimmung mit der Nationalen Koordinierungsstelle (Umweltbundesamt, UBA) und dem für die Waldinventur zuständigen Ministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Frühjahr 2011 getroffen.

Angepasst auf die derzeitige Datenstruktur wurden der Entscheidungsbaum pro Klassifizierungsjahr und die „Transition Time"-Prozeduren programmiert.

6.3.4.1 Ableitung der Landnutzung

Aufgrund des Datenmaterials (siehe Kapitel 6.3.2), welches am jeweiligen Stichprobenpunkt zur Verfügung steht, kann für diesen für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 eine Zuordnung zu einer Landnutzungskategorie vorgenommen werden. Die Basistabelle (siehe Tabelle 355) ist wie folgt aufgebaut (hier anhand dreier Beispielstichprobenpunkte):

Tabelle 355: Basistabelle zur Ableitung der Landnutzungen

Punkt-ID	LBM 2012	OSM	org. Boden	DLM 2000	DLM 2005	DLM 2010	DLM 2015	DLM 2019	CORINE 1990	CORINE 2000	CORINE 2006	Punkt-ID	LBM 2012
1	sett	0	0	crop	crop	crop	sett	sett	gra1	gra1	gra1	1	sett
1000	gra1	1	0	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	1000	gra1
2000	crop	0	0	crop	gra1	crop	crop	crop	gra1	crop	crop	2000	crop

Für die Landnutzungsklassen wurden in den Datensätzen folgende Kodierungen verwendet:

Tabelle 356: Kodierungen in der Basistabelle

Kodierung	Kategorie	Subkategorie
crop	$Acker_{annuell}$	$Acker_{annuell}$
croh	Sonderkultur	Hopfen
crow	Sonderkultur	Wein
croo	Sonderkultur	Obstplantage
cros	Sonderkultur	Kurzumtriebsplantagen
crot	Sonderkultur	Baumschulen
crox	Sonderkultur	Weihnachtsbaumkulturen
gra1	Grünland	Grünland im engeren Sinn (i.e.S)
gra2	Grünland	Gehölze
forl	Wald	Wald
wet1	Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete
wet2	Feuchtgebiete	Gewässer
wet3	Feuchtgebiete	Torfstich
sett	Siedlungen	Siedlungen
othl	Sonstiges Land	Sonstiges Land
dlm0	Keine Information[100]	

Auf diese Basistabelle wurden für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 die Entscheidungsbäume für das jeweilige Jahr angewandt. Dabei wird immer das Basis-DLM verwendet, es sei denn im Basis-DLM liegen für einen Punkt keine Informationen vor, dann gibt es eine Abstufung von zeitlichen nahen Basis-DLM zu LBM2012 und Corine Land Cover in zeitlicher Nähe. Die Landnutzung für 1990 (LU 1990) wird nicht über den Entscheidungsbaum sondern über den Overlap Approach (OA) entschieden.

Durch die Anwendung der Entscheidungsbäume resultiert eine weitere Tabelle (siehe Tabelle 357) mit den wahrscheinlichsten Landnutzungen pro Stichprobenpunkt und Jahr (1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020) und der jeweils besten Datenquelle.

[100] Keine Landnutzungsinformation an diesem Punkt aus den Basis-DLM-Daten

Tabelle 357: Wahrscheinlichste Landnutzung (LU) und deren Datenquelle (DB)

Punkt-ID	LU 1990	LU 2000	LU 2005	LU 2010	LU 2015	LU 2019	DB 1990	DB 2000	DB 2005	DB 2010	DB 2015	DB 2019
1	crop	crop	crop	crop	sett	sett	dlm(OA)	dlm	dlm	dlm	dlm	dlm
1000	sett	sett	sett	sett	sett	sett	osm	osm	osm	osm	osm	osm
2000	gra1	crop	gra1	crop	crop	crop	clc	dlm	dlm	dlm	dlm	dlm

(Abkürzungen siehe Tabelle 356)

Am Beispiel des Punktes mit der Punkt-ID 1 wird die Anwendung das Overlap Approach (OA) aufgezeigt. Das Corine hat im Jahr 2000 eine andere Landnutzung eingetragen als das Basis-DLM, gleichzeitig hat das Corine keine Landnutzungsänderung von 1990 zu 2000. Für das Jahr 2000 wird das Basis-DLM als besserer und neuerer Datensatz verwendet, und für 1990 wird dieser Wert aus dem Basis-DLM 2000 entsprechend keiner Änderung zu 1990 rückwärts extrapoliert.

6.3.4.2 Ableitung der jährlichen Landnutzungsänderungen

Anschließend an die Landnutzungserkennung wurden die Landnutzungsänderungskategorien für jede Veränderungsperiode (1990-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2020) und jeden Stichprobenpunkt abgeleitet. Dazu wurde eine Funktion programmiert, die in der Inventarbeschreibung dokumentiert ist.

Die Entwicklung einer Landnutzungsmatrix, in der die geforderte Übergangszeit von 20 Jahren nach einer Landnutzungsänderung berücksichtigt wird, erfolgt in mehreren Teilschritten:

- Für alle Landnutzungsänderungen, die innerhalb des Übergangszeitraums auftreten, der durch die aufgenommenen Beobachtungen abgedeckt ist (1990-2020), erfolgt zunächst eine punktbezogene Betrachtung. Dabei existiert eine räumliche Zuordnung der Landnutzungsänderungen zu den einzelnen Beobachtungspunkten.
- Landnutzungsänderungsflächen, die vor diesem Zeitraum aufgetreten sind (1970-1990), werden aus den Beobachtungen im ersten Messzeitraum (1990-2000) rückwirkend extrapoliert. Eine räumliche Zuordnung zu den Beobachtungspunkten erfolgt hier durch die Verteilung der Flächensummen auf die Punkte.
- Der Beobachtungszeitraum ist aufgeteilt in unterschiedlich lange Übergangsperioden (1990-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2020), so dass die jährlichen Änderungen durch lineare Interpolation in den Veränderungsperioden anteilig berechnet werden.

Seit der Submission 2020 werden alle effektiven Landnutzungsänderungen punktgenau nachverfolgt. Es werden auch Wechsel der Landnutzung vor Ablauf der angenommenen Übergangszeit von 20 Jahren im Inventar abgebildet. Jeder Punkt (bzw. die korrespondierende Fläche), der einen Landnutzungswechsel erfährt, wird jedoch für genau 20 Jahre in seiner letzten Landnutzungsänderungskategorie berichtet. Angenommen die Landnutzungswechsel des Punktes mit der ID 2000 finden 1995, 2002, und 2006 statt, dann wird dieser 1 ha von 1995 bis 2001 in der Wechselkategorie Grassland to Cropland, von 2002 bis 2005 in der Wechselkategorie Cropland to Grassland und ab 2006 in der Wechselkategorie Grassland to Cropland berichtet. Dort würde er bis 2025 bleiben, wenn er keine weiteren Landnutzungsänderungen erfährt und dann 2026 in die Kategorie Cropland remaining Cropland wechseln.

6.3.5 Landnutzungsänderungen nach Konvention und KP

Die bisher beschriebene Methode zur Erfassung von Landnutzungsänderungen und die daraus resultierende vollständige Landnutzungsmatrix (siehe Tabelle 358), inklusive einer 20-jährigen

„Transition Time“ seit 1970 ist konform zur Berichterstattung nach der Klimarahmenkonvention und den 2006 IPCC Guidelines. Tabelle 359 zeigt beispielhaft die komplette detaillierte Landnutzungsmatrix das Jahr 2020.

Zur Erfassung der Landnutzungsänderungen nach dem Kyoto-Protokoll werden auf der gleichen jährlichen Datengrundlage (siehe Tabelle 360) Landnutzungsänderungen erst ab 1990 berücksichtigt und in den Änderungskategorien Aufforstung und Entwaldung über 20 Jahre hinaus akkumuliert (siehe Tabelle 484 in Kapitel 11.2.2).

Tabelle 358: Flächen der Landnutzungskategorien und ihrer Übergänge inklusive 20-jähriger Transition Time nach der Konventionsberichterstattung

Jahr	4.A.1 Verbleibender Wald [ha]	4.A.2 … LUC zu Wald [ha]	4.B.1 Verbleibender Acker [ha]	4.B.2 … LUC zu Acker [ha]	4.C.1 Verbleibendes Grünland [ha]	4.C.2 … LUC zu Grünland [ha]	4.D.1 Verbleibende Feuchtgebiete [ha]	4.D.2 … LUC zu Feuchtgebieten [ha]	4.E.1 Verbleibende Siedlungen [ha]	4.E.2 … LUC zu Siedlungen [ha]	4.F.1 Verbleibendes Sonstiges Land [ha]	4.F.2 … LUC zu Sonstigem Land [ha]
1990	10.603.849	234.560	13.087.052	502.120	6.440.662	365.570	617.555	30.596	3.602.566	238.000	67.592	0
1991	10.614.144	234.605	13.091.228	500.795	6.427.790	362.636	617.993	30.493	3.606.478	237.411	66.549	0
1992	10.624.440	234.654	13.095.278	499.600	6.414.498	360.140	618.396	30.403	3.610.299	236.915	65.499	0
1993	10.634.733	234.702	13.099.229	498.504	6.400.842	357.996	618.812	30.328	3.614.105	236.420	64.451	0
1994	10.645.034	234.747	13.103.041	497.546	6.386.851	356.190	619.203	30.261	3.617.825	236.018	63.406	0
1995	10.655.325	234.788	13.106.651	496.785	6.372.775	354.486	619.566	30.217	3.621.496	235.671	62.362	0
1996	10.665.623	234.825	13.110.116	496.171	6.358.239	353.221	619.937	30.177	3.625.030	235.463	61.320	0
1997	10.675.921	234.858	13.113.465	495.673	6.343.417	352.259	620.285	30.151	3.628.556	235.259	60.278	0
1998	10.686.213	234.901	13.116.586	495.399	6.328.314	351.575	620.598	30.176	3.631.999	235.132	59.229	0
1999	10.696.506	234.942	13.119.613	495.236	6.312.954	351.136	620.861	30.240	3.635.317	235.135	58.182	0
2000	10.706.800	234.990	13.122.548	495.140	6.297.280	350.993	621.165	30.283	3.638.608	235.176	57.139	0
2001	10.709.914	232.518	12.994.384	547.088	6.197.948	473.495	616.216	40.254	3.621.145	302.241	54.919	0
2002	10.713.031	230.048	12.865.679	599.584	6.098.076	596.551	611.230	50.243	3.603.278	369.704	52.698	0
2003	10.716.163	227.561	12.736.212	652.837	5.997.247	720.563	606.224	60.246	3.585.267	437.315	50.487	0
2004	10.719.275	225.096	12.606.246	706.612	5.895.588	845.394	601.170	70.287	3.567.017	505.164	48.273	0
2005	10.722.398	222.629	12.475.684	760.960	5.793.154	970.985	596.085	80.384	3.548.525	573.255	46.063	0
2006	10.728.690	220.337	12.403.205	778.909	5.748.922	1.027.958	594.815	87.790	3.544.242	610.165	45.089	0
2007	10.734.965	218.024	12.330.261	797.349	5.704.136	1.085.478	593.567	95.186	3.539.786	647.252	44.118	0
2008	10.741.245	215.722	12.256.850	816.258	5.658.944	1.143.401	592.334	102.565	3.535.192	684.460	43.151	0
2009	10.747.526	213.419	12.183.154	835.438	5.613.292	1.201.783	591.008	110.049	3.530.618	721.649	42.186	0
2010	10.753.808	211.114	12.109.157	854.922	5.567.043	1.260.750	589.731	117.468	3.526.063	758.847	41.219	0
2011	10.761.436	205.818	12.004.174	916.736	5.497.334	1.324.694	589.864	121.548	3.529.093	798.719	40.706	0
2012	10.769.069	200.515	11.898.369	979.400	5.427.036	1.389.231	589.997	125.624	3.532.018	838.670	40.193	0
2013	10.776.698	195.201	11.792.099	1.042.530	5.356.323	1.454.172	590.126	129.729	3.534.739	878.818	39.687	0
2014	10.784.326	189.903	11.685.376	1.106.091	5.285.102	1.519.638	590.250	133.818	3.537.331	919.116	39.171	0
2015	10.791.942	184.604	11.578.168	1.170.151	5.213.639	1.585.323	590.305	137.990	3.539.742	959.599	38.659	0
2016	10.797.934	186.964	11.522.203	1.195.214	5.168.322	1.625.078	589.936	141.054	3.541.110	984.151	38.156	0
2017	10.803.927	189.323	11.465.263	1.221.246	5.122.399	1.665.430	589.533	144.151	3.542.310	1.008.885	37.655	0
2018	10.809.927	191.677	11.408.187	1.247.418	5.076.123	1.706.115	589.107	147.305	3.543.562	1.033.543	37.158	0
2019	10.815.925	194.029	11.350.312	1.274.401	5.029.548	1.747.071	588.734	150.413	3.544.634	1.058.397	36.658	0
2020	10.821.924	196.383	11.292.118	1.301.692	4.982.617	1.788.409	588.308	153.555	3.545.593	1.083.362	36.161	0

Tabelle 359: Landnutzungsmatrix 2020. Die Diagonale zeigt die Fläche in verbleibender Nutzung, die anderen Felder die jeweiligen Landnutzungsänderungen (einschließlich 20-jähriger Übergangszeiten)

	Landnutzungsmatrix 2020: Flächen [ha]																
Initial*Final	*Wald*	*Acker$_{annuell}$*	*Hopfen*	*Wein-anbau*	*Obst-anbau*	Baum-schulen	Weihnachts baum-kulturen	Kurzumtriebs-plantagen	*Grünland i.e.S.*	*Gehölze*	*Terrestr. Feuchtgebiete*	*Gewässer*	*Torfabbau*	*Siedlungen*	*Sonstiges Land*	**Σ Abnahme**	**Σ Zunahme - Σ Abnahme**
Wald	10.821.924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.321	7.838	64	95.828	0	114.051	82.332
Acker$_{annuell}$	1.061	11.006.628	4.683	3.070	12.291	7.380	4.535	1.116	1.485.685	55.734	1.306	13.773	434	514.899	0	2.105.967	-777.373
Hopfen	95	2.956	15.047	0	113	0	0	3	243	0	0	2	0	106	0	3.518	1.736
Weinanbau	186	3.240	2	107.339	215	26	4	2	4.815	3.249	0	16	0	2.297	0	14.052	-8.012
Obstanbau	1.208	31.933	128	491	54.769	239	223	92	16.587	1.670	2	103	0	4.816	0	57.492	-38.504
Baumschulen	0	758	0	0	54	13.931	0	473	225	62	0	2	0	137	0	1.711	7.319
Weihnachts-baumkulturen	1.808	8.138	8	13	605	0	7.107	0	1.408	299	0	3	0	788	0	13.070	647
Kurzumtriebs-plantagen	1.535	3.544	7	19	936	0	0	0	1.714	389	3	11	38	878	0	9.074	-1.708
Grünland i.e.S.	48.620	1.158.273	376	1.607	3.951	952	3.287	274	4.459.904	175.445	23.683	30.987	2.003	410.188	0	1.859.646	10.324
Gehölze	113.190	54.130	36	611	461	0	5.565	5.381	182.900	164.368	2.068	2.960	31	42.093	0	409.426	-132.642
Terrestrische Feuchtgebiete	6.784	1.051	0	1	5	8	1	0	9.201	1.322	76.671	1.234	899	1.177	0	21.683	30.074
Gewässer	7.225	2.866	1	1	14	3	1	0	18.070	2.609	1.027	490.599	16	6.936	0	38.769	66.347
Torfabbau	51	1.864	0	0	0	0	0	0	937	59	3.422	395	14.045	167	0	6.895	-3.220
Siedlungen	11.702	58.879	13	224	343	422	101	25	141.155	33.776	9.922	46.702	190	3.545.593	0	303.454	779.908
Sonstiges Land	2.918	962	0	3	0	0	0	0	7.030	2.170	3	1.090	0	3.052	36.161	17.228	-17.228
Σ Zunahme	196.383	1.328.594	5.254	6.040	18.988	9.030	13.717	7.366	1.869.970	276.784	51.757	105.116	3.675	1.083.362	0		
Σ Landnutzungs-kategorie	11.018.307	12.335.222	20.301	113.379	73.757	22.961	20.824	7.366	6.329.874	441.152	128.428	595.715	17.720	4.628.955	36.161		
Fläche Deutschland									35.790.122								

Tabelle 360: Jährliche Flächen der Landnutzungsänderungen, die den Berechnungen für das Inventar nach Koventionsberichterstattung (20-jährige Übergangszeit) und Kyoto Protokoll (kumulative Flächenänderung) zugrunde liegen.

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
… zu Wald					
$Acker_{annuell}$ zu Wald	0	190	12	5	5
Hopfen zu Wald	0	0	19	0	0
Weinbau zu Wald	0	0	37	0	0
Obstbau zu Wald	0	0	242	0	0
Baumschulen zu Wald	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Wald	0	0	362	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Wald	0	0	307	0	0
Grünland i.e.S. zu Wald	6.120	1.725	2.526	1.200	4.273
Gehölze zu Wald	2.828	4.816	4.632	4.438	8.752
Terrestrische Feuchtgebiete zu Wald	40	697	345	95	220
Gewässer zu Wald	343	635	269	219	321
Torfabbau zu Wald	0	0	2	3	6
Siedlung zu Wald	2.081	864	568	458	451
Sonstiges Land zu Wald	354	329	105	53	97
… zu $Acker_{annuell}$					
Wald zu $Acker_{annuell}$	0	0	0	0	0
Hopfen zu $Acker_{annuell}$	0	0	89	341	221
Weinbau zu $Acker_{annuell}$	12	272	309	130	159
Obstbau zu $Acker_{annuell}$	2.682	3.165	2.312	844	1.191
Baumschulen zu $Acker_{annuell}$	0	0	0	99	79
Weihnachtsbaumkulturen zu $Acker_{annuell}$	0	0	431	918	546
Kurzumtriebsplantagen zu $Acker_{annuell}$	0	0	128	330	408
Grünland i.e.S. zu $Acker_{annuell}$	16.471	80.182	50.880	92.681	54.797
Gehölze zu $Acker_{annuell}$	4.242	5.359	2.620	2.457	3.212
Terrestrische Feuchtgebiete zu $Acker_{annuell}$	18	59	37	53	102
Gewässer zu $Acker_{annuell}$	335	303	122	175	242
Torfabbau zu $Acker_{annuell}$	0	0	78	157	164
Siedlung zu $Acker_{annuell}$	3.663	9.570	4.907	2.566	3.601
Sonstiges Land zu $Acker_{annuell}$	133	186	26	1	19

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
… zu Hopfen					
Wald zu Hopfen	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Hopfen	0	0	65	347	550
Weinbau zu Hopfen	0	0	0	0	0
Obstbau zu Hopfen	0	0	20	7	4
Baumschulen zu Hopfen	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Hopfen	0	0	0	1	0
Kurzumtriebsplantagen zu Hopfen	0	0	0	0	1
Grünland i.e.S. zu Hopfen	0	0	6	40	34
Gehölze zu Hopfen	0	0	0	2	5
Terrestrische Feuchtgebiete zu Hopfen	0	0	0	0	0
Gewässer zu Hopfen	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Hopfen	0	0	0	0	0
Siedlung zu Hopfen	0	0	0	1	1
Sonstiges Land zu Hopfen	0	0	0	0	0
… zu Weinbau					
Wald zu Weinbau	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Weinbau	8	103	87	244	317
Hopfen zu Weinbau	0	0	0	0	0
Obstbau zu Weinbau	0	0	19	44	53
Baumschulen zu Weinbau	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Weinbau	0	0	3	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Weinbau	0	0	0	2	1
Grünland i.e.S. zu Weinbau	3	33	45	135	177
Gehölze zu Weinbau	1	6	12	47	75
Terrestrische Feuchtgebiete zu Weinbau	0	0	0	0	0
Gewässer zu Weinbau	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Weinbau	0	0	0	0	0
Siedlung zu Weinbau	0	5	8	23	22
Sonstiges Land zu Weinbau	0	1	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
… zu Obstbau					
Wald zu Obstbau	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Obstbau	331	956	552	1.004	1.354
Hopfen zu Obstbau	0	0	2	3	19
Weinbau zu Obstbau	0	0	9	21	23
Baumschulen zu Obstbau	0	0	0	13	6
Weihnachtsbaumkulturen zu Obstbau	0	0	36	56	49
Kurzumtriebsplantagen zu Obstbau	0	0	84	67	50
Grünland i.e.S. zu Obstbau	146	130	80	301	514
Gehölze zu Obstbau	57	42	7	37	61
Terrestrische Feuchtgebiete zu Obstbau	0	0	0	0	1
Gewässer zu Obstbau	4	0	0	1	2
Torfabbau zu Obstbau	0	0	0	0	0
Siedlung zu Obstbau	79	49	15	30	41
Sonstiges Land zu Obstbau	0	0	0	0	0
… zu Baumschulen					
Wald zu Baumschulen	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Baumschulen	0	0	340	0	0
Hopfen zu Baumschulen	0	0	1	0	0
Weinbau zu Baumschulen	0	0	6	0	0
Obstbau zu Baumschulen	0	0	32	0	0
zu Baumschulen	0	0	184	0	0
zu Baumschulen	0	0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Baumschulen	0	0	82	0	0
Gehölze zu Baumschulen	0	0	51	630	432
Terrestrische Feuchtgebiete zu Baumschulen	0	0	0	0	0
Gewässer zu Baumschulen	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Baumschulen	0	0	0	0	0
Siedlung zu Baumschulen	0	0	12	0	0
Sonstiges Land zu Baumschulen	0	0	0	0	0
… zu Weihnachtsbaumkulturen					
Wald zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Weihnachtsbaumkulturen	0	1	0	0	1.476
Hopfen zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0
Weinbau zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	5
Obstbau zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	48
Baumschulen zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
Kurzumtriebsplantagen zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	221	0
Gehölze zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	0
Terrestrische Feuchtgebiete zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	2
Gewässer zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	1
Torfabbau zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	0
Siedlung zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	84
Sonstiges Land zu Weihnachtsbaumkulturen		0	0	0	0
… zu Kurzumtriebsplantagen					
Wald zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	1.168	0
Hopfen zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	0	0
Weinbau zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	2	0
Obstbau zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	53	0
Baumschulen zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	196	496
Gehölze zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	672	497
Terrestrische Feuchtgebiete zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	1	0
Gewässer zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	1	0
Torfabbau zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	0	0
Siedlung zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	27	0
Sonstiges Land zu Kurzumtriebsplantagen		0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
… zu Grünland i.e.S.					
Wald zu Grünland i.e.S.	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Grünland i.e.S.	13.706	119.406	78.414	107.683	73.932
Hopfen zu Grünland i.e.S.	0	0	10	20	30
Weinbau zu Grünland i.e.S.	6	349	659	207	309
Obstbau zu Grünland i.e.S.	725	774	694	1.642	885
Baumschulen zu Grünland i.e.S.	0	0	0	20	31
Weihnachtsbaumkulturen zu Grünland i.e.S.	0	0	47	125	161
Kurzumtriebsplantagen zu Grünland i.e.S.	0	0	52	132	193
Gehölze zu Grünland i.e.S.	3.382	18.111	8.877	7.933	11.960
Terrestrische Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S.	21	1.093	419	260	475
Gewässer zu Grünland i.e.S.	295	1.779	1.193	911	999
Torfabbau zu Grünland i.e.S.	0	0	42	76	132
Siedlung zu Grünland i.e.S.	2.202	15.658	11.443	7.044	10.287
Sonstiges Land zu Grünland i.e.S.	382	872	639	141	181
… zu Gehölze					
Wald zu Gehölze	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Gehölze	599	5.134	3.863	3.037	3.384
Hopfen zu Gehölze	0	0	0	0	0
Weinbau zu Gehölze	0	164	330	125	170
Obstbau zu Gehölze	41	171	176	111	100
Baumschulen zu Gehölze	0	0	0	6	9
Weihnachtsbaumkulturen zu Gehölze	0	0	89	34	34
Kurzumtriebsplantagen zu Gehölze	0	0	51	27	53
Grünland i.e.S. zu Gehölze	679	12.216	12.773	10.096	12.418
Terrestrische Feuchtgebiete zu Gehölze	1	261	38	60	87
Gewässer zu Gehölze	33	209	146	167	197
Torfabbau zu Gehölze	0	0	0	7	7
Siedlung zu Gehölze	279	3.383	2.168	1.648	2.560
Sonstiges Land zu Gehölze	48	214	69	208	87

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
… zu terrestrische Feuchtgebiete					
Wald zu terrestrische Feuchtgebiete	7	1.280	362	136	368
$Acker_{annuell}$ zu terrestrische Feuchtgebiete	16	243	65	31	33
Hopfen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Weinbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Obstbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	2	0	0
Baumschulen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu terrestrische Feuchtgebiete	44	1.936	1.071	731	1.685
Gehölze zu terrestrische Feuchtgebiete	5	205	86	53	133
Gewässer zu terrestrische Feuchtgebiete	7	59	27	29	111
Torfabbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	90	173	442
Siedlung zu terrestrische Feuchtgebiete	7	1.385	855	8	24
Sonstiges Land zu terrestrische Feuchtgebiete	2	1	0	0	0
… zu Gewässer					
Wald zu Gewässer	240	685	351	257	347
$Acker_{annuell}$ zu Gewässer	509	1.048	1.119	623	603
Hopfen zu Gewässer	0	0	0	0	0
Weinbau zu Gewässer	0	2	1	1	0
Obstbau zu Gewässer	15	7	6	8	5
Baumschulen zu Gewässer	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Gewässer	0	0	0	1	0
Kurzumtriebsplantagen zu Gewässer	0	0	0	1	1
Grünland i.e.S. zu Gewässer	299	2.490	1.822	1.339	1.686
Gehölze zu Gewässer	70	179	174	135	180
Terrestrische Feuchtgebiete zu Gewässer	0	62	109	63	68
Torfabbau zu Gewässer	0	0	3	29	60
Siedlung zu Gewässer	318	2.283	3.743	3.172	851
Sonstiges Land zu Gewässer	31	66	45	43	82

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**
… zu Torfabbau					
Wald zu Torfabbau	0	0	2	7	6
$Acker_{annuell}$ zu Torfabbau	0	0	10	47	48
Hopfen zu Torfabbau	0	0	0	0	0
Weinbau zu Torfabbau	0	0	0	0	0
Obstbau zu Torfabbau	0	0	0	0	0
Baumschulen zu Gewässer	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Gewässer	0	0	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Gewässer	0	0	0	1	6
Grünland i.e.S. zu Torfabbau	0	1	22	185	216
Gehölze zu Torfabbau	0	0	3	2	2
Terrestrische Feuchtgebiete zu Torfabbau	0	0	3	75	122
Gewässer zu Torfabbau	0	0	0	0	3
Siedlung zu Torfabbau	0	2	1	7	31
Sonstiges Land zu Torfabbau	0	0	0	0	0
… zu Siedlung					
Wald zu Siedlung	1.184	6.643	4.732	3.746	5.052
$Acker_{annuell}$ zu Siedlung	6.411	44.009	26.404	29.290	15.110
Hopfen zu Siedlung	0	0	3	14	7
Weinbau zu Siedlung	4	173	143	96	82
Obstbau zu Siedlung	265	462	332	154	125
Baumschulen zu Siedlung	0	0	0	19	14
Weihnachtsbaumkulturen zu Siedlung	0	0	25	76	67
Kurzumtriebsplantagen zu Siedlung	0	0	28	73	85
Grünland i.e.S. zu Siedlung	3.437	27.495	21.798	21.423	19.739
Gehölze zu Siedlung	410	1.696	1.898	2.529	2.922
Terrestrische Feuchtgebiete zu Siedlung	11	122	21	25	136
Gewässer zu Siedlung	133	1.651	876	354	476
Torfabbau zu Siedlung	0	0	4	6	29
Sonstiges Land zu Siedlung	94	547	84	66	33

6.3.6 Verifizierung

Die Landnutzungskategorien wurden für das Inventar so gewählt, dass sie den Definitionen von UNFCCC, Kyoto Protokoll bzw. IPCC entsprechen. Neben dem Basis-Digitalen Landschaftsmodell des AKTIS®, welches die Datengrundlage des deutschen Inventars ist, existieren weitere, unabhängige Systeme zur Erhebung von Landflächen (auf die deutschen InVeKoS-Daten (IACS) kann in diesem Zusammenhang leider nicht zurückgegriffen werden). Es existiert jedoch kein System, welches georeferenziert Landnutzungsänderungen ausweist. Zur Verifizierung können folglich immer nur Flächensummen für Landnutzungskategorien untereinander verglichen werden. Zum Vergleich herangezogene Datensätze:

- Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung (Erhebung auf Basis des automatischen Liegenschaftkatasters und des B-DLM des ATKIS®, mit Nachbearbeitungsschritten (z.B. Konversion linearer Elemente zu Flächen); Offizialstatistik Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.2))
- Agrarstrukturerhebung (ASE; Erhebung durch Befragung; Landwirtschaftsstatistik) (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2)
- Beprobungsraster der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018)

Zu Verifikationszwecken können diese Datenquellen jedoch nur mit starken Einschränkungen herangezogen werden, da

- unterschiedliche Ausgabeformate vorliegen: Statistische Daten gegenüber räumlich hochauflösender Karte. Dadurch lassen sich nur Flächensummen vergleichen. Landnutzungsänderungen können aus den Daten der Statistik nicht abgeleitet werden.
- sie abweichende Definitionen für wichtige Landnutzungskategorien, insbesondere für landwirtschaftliche Flächen, Siedlungen und sonstiges Land aufweisen
- große Unterschiede in der Methodik der Datenerhebung vorhanden sind, z.B.
    - unterschiedlicher Erhebungsumfang
    - unterschiedliche räumliche Auflösung
    - statistischer Ansatz vs. Wall to Wall - Ansatz (Vermessung, Fernerkundung)
    - Landbedeckung, Landnutzung oder Mischform
    - Ausschlussgrenzen und –kriterien
    - unterschiedliche Erfassung und Darstellung linearer Elemente
    - Periodizität der Erhebung usw.

Daraus ergeben sich je nach Erhebungssystemen z.T. stark unterschiedliche Flächenangaben für gleiche Landnutzungskategorien. Diese Unterschiede können über 10 % betragen, sind seit langem bekannt, werden aber beibehalten, um in jedem Datensatz konsistente Zeitreihen zu erhalten. Absolut sind die Ergebnisse der einzelnen Erhebungssysteme ohne Manipulation kaum miteinander vergleichbar. Aus diesem Grunde wurde als zusätzliches Kriterium die Entwicklung der Flächensumme einzelner Landnutzungskategorien seit dem Jahr 2000, deren Trends, in den unterschiedlichen Erhebungssystemen miteinander verglichen. Hierbei zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse der Flächenerhebung und der aus dem B-DLM stammenden Werte. Aus diesem Grunde kann davon ausgegangen werden, dass die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung konsistent mit dem Inventar ist.

Alle drei Erhebungen lassen sich nur anhand der gesamten Landwirtschaftsfläche vergleichen. Hier wird der Trend auch sehr gut wiedergegeben. Im Vergleich einzelner Aspekte der Landwirtschaftsfläche zwischen der Landwirtschaftsstatistik (ASE) und den Werten der dem Inventar zugrunde liegenden Landnutzungsmatrix aus dem B-DLM des AKTIS®, zeigt sich, auf Bundes und Landesebene, dass das Bild deutlich diffuser wird. Neben hervorragenden

Übereinstimmungen im Trend, sind auch stark abweichende Kurvenverläufe festzustellen, offensichtlich in Abhängigkeit von der Anzahl der Flächen, die in den entsprechenden Bezugsräumen in der Offizialstatistik unter Ausschlusskriterien fallen.

Dies bestätigt ein weiterer Test. In diesem wurden die Daten des B-DLM mit denen der Bodenzustandserhebung-LW (Jacobs et al., 2018) als auch denen der Agrarstrukturerhebung (ASE)(Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2) verglichen. Grundlage der BZE-LW war ein landesweites, flächendeckendes systematisches Beprobungsraster (8 x 8 km) zur Erfassung der Bodenqualität landwirtschaftlich genutzter Standorte. Die Landnutzung wurde an allen Rasterpunkten vor Ort verifiziert. Unterschiede zwischen BZE und B-DLM ergeben sich nur durch die Erhebungsmethodik; während bei der BZE Flächen mit Grünland-Wechselwirtschaft extra ausgewiesen wurden und in der Nachbearbeitung komplett dem Ackerland zugeschlagen werden (in der ASE werden diese als Ackerland kartiert), fixiert das B-DLM die aktuelle Nutzung, also Grünland oder Ackerland, zum Zeitpunkt der Erhebung. Eine Anpassung des Grünlandwertes/Ackerlandwertes des B-DLM an den jeweiligen Wert der BZE, mit entsprechenden Flächenausgleich in der jeweils anderen Kategorie ergibt eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Erhebungssysteme, wogegen die Agrarstrukturerhebung die Landwirtschaftsfläche unterschätzt, insbesondere in Bezug auf das Ackerland (aufgrund von Ausschlusskriterien)(Tabelle 361). Bezüglich des geringen Unterschieds in der Gesamtflächenrepräsentanz von BZE und B-DLM sei darauf hingewiesen, dass in gröberen statistischen Erhebungssystemen kleine Flächen oft überschätzt werden (vergl. Jacobs et al. (2018)).

Tabelle 361: Prozentuale Verteilung der Flächen landwirtschaftlicher Landnutzung nach Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE), Basis-Digitalem Landschaftsmodell des ATKIS® (B-DLM) und der Agrarstrukturerhebung (ASE)[101].

	BZE	B-DLM_GL_an	B-DLM_AL_an	ASE
		[%]		
Ackerland	71,9	71,0	71,9	59,6
Grünland	26,4	26,4	25,5	23,5
Sonderkulturen	1,6	1,3	1,3	1,0
Gesamtflächenrepräsentanz	100,0	98,8	98,8	84,1

6.4 Wälder (4.A)

6.4.1 Beschreibung der Kategorie (4.A)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**4 A, Forest Land**		**CO2**	**-19.707,1**	**-1,5%**	**-46.252,0**	**-6,4%**	**134,7%**
-/-	4 A, Forest Land		N2O	465,0	0,0%	375,4	0,1%	-19,3%
-/-	4 A, Forest Land		CH4	39,5	0,0%	35,9	0,0%	-9,1%

* Die kategoriespezifischen indirekten N_2O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 als Summe aller Unterkategorien dargestellt

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS/Tier 2	RS/NS	CS/D
CH_4	Tier 2	RS/NS	CS/D
N_2O	Tier 2	RS/NS	CS/D

Die Kategorien Forest Land remaining Forest Land (4.A.1) und *Land converted to Forest Land* (4.A.2) sind für CO_2-Emissionen bzw. -Einbindungen Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

[101] Referenz ist die Gesamtfläche der BZE. Die B-DLM-Flächen wurden zur Korrektur der Flächen mit Grünland-Wechselwirtschaft an die Grünland- (B-DLM_GL_an) bzw. Ackerlandfläche (B-DLM_AL_an) der BZE angepasst.

Die Kategorie „Wald“ wird in den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006b) und in den offiziellen Berichtstabellen im Common Reporting Format (CRF) für die an das Klimasekretariat zu übermittelnden Treibhausgasinventare in verbleibende Waldfläche und Neuwald unterteilt. Neuwald entsteht durch Sukzession, Wiederbewaldung und Aufforstung, auf zuvor anderweitig genutzten Flächen (Land converted to Forest Land). Nach derartigen Landnutzungsänderungen muss gemäß den IPCC Guidelines 2006 mit einer 20-jährigen Übergangszeit („Transition Time“) auf der Datengrundlage ab dem Jahr 1970 gerechnet werden (siehe Kapitel 6.3); folglich verbleiben Neuwaldflächen 20 Jahre lang in den entsprechenden Übergangskategorien, bevor sie in die „verbleibende Waldfläche“ wechseln. Als verbleibende Waldfläche wird die Fläche bezeichnet, die im Berichtsjahr unverändert Wald bleibt (Forest Land remaining Forest Land) zuzüglich der Flächen, die nach 20 Jahren aus den Übergangskategorien (Land converted to Forest Land (4.A.2)) in die verbleibende Waldfläche überführt werden.

In der Kategorie *Forest Land* wird über die Emission/Einbindung von CO_2 aus organischen und mineralischen Böden, der ober- und unterirdischen Biomasse, Streu, Totholz sowie Waldbrand berichtet; außerdem über Lachgasemissionen aus Waldbränden, Drainage organischer Böden und Mineralisierung in Mineralböden sowie Methanemissionen aus Waldbränden und Drainage organischer Böden.

Die Gesamtemissionen aus den Wäldern betrugen im Jahre 2020 -45.841 kt CO_2-Äquivalente. In der Tabelle 362 sind die Emissionen für den Wald unterteilt nach Pools und Treibhausgasen sowie ihrer Unsicherheiten zusammengestellt.

Tabelle 362: Emissionen im Waldbereich für das Jahr 2020

Quellgruppe	Gas	Emission	2,5 % Perzentil	97,5 % Perzentil	2,5 % Perzentil	97,5 % Perzentil
		[kt CO_2-Eq.]			%	
$Wald_{total}$ [102]		-45.840,7	-38.064,2	-53.621,6	16,96	16,97
Mineralböden	CO_2 [103]	-16.018,0	-7.748,6	-24.287,4	51,63	51,63
	$N_2O_{indirekt}$ [104]	2,9	0,4	9,1	86,92	216,72
	N_2O_{direkt} [105]	12,7	5,9	31,9	53,33	151,24
Organische Böden	CO_2 [103]	2.705,7	2.186,3	3.311,5	19,20	22,39
	CH_4 [106]	34,1	10,6	68,8	68,93	101,98
	N_2O [106]	358,6	-40,6	749,6	111,32	109,01
Biomasse	CO_2 [103]	-29.333,6	-26.723,4	-31.944,2	8,90	8,90
Streu	CO_2 [103]	160,3	-330,0	650,6	305,84	305,84
Totholz	CO_2 [103]	-3.766,4	-2.834,0	-4.698,9	24,76	24,76
Waldbrände	CO_2 [107]	IE	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [107]	1,8	0,3	3,3	82,26	82,26
	N_2O [107]	1,2	0,5	1,9	57,21	57,21

Ausschlaggebend für die Einbindungen in der Waldkategorie (2020) sind die Pools Biomasse (56,02 %), mineralische Böden (30,56 %) und Totholz (7,19 %). Quellen entstehen durch Streu, Drainage, Mineralisierung und Waldbrände. Die Quellen tragen mit 6,23 % nur einen sehr geringen Anteil zur Treibhausgasbilanz im Wald bei.

[102] Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.A, 4.(II).A, 4.(III).A, 4.(IV).2, 4.(V).A

[103] CRF-Tabelle 4.A

[104] Die kategoriespezifischen indirekten N_2O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 als Summe aller Unterkategorien dargestellt

[105] CRF-Tabelle 4.(III).A

[106] CRF-Tabelle 4.(II).A

[107] CRF-Tabelle 4.(V).A

Abbildung 61: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2020 nach Unterkategorien

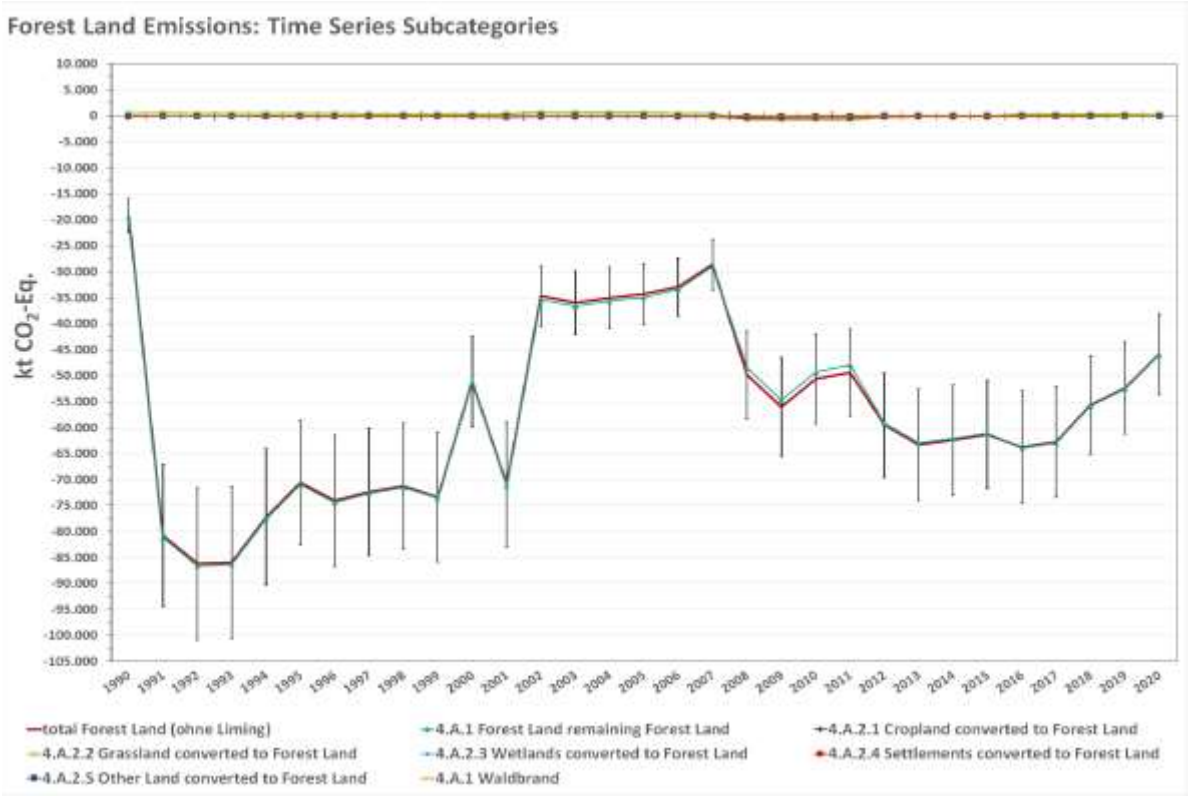
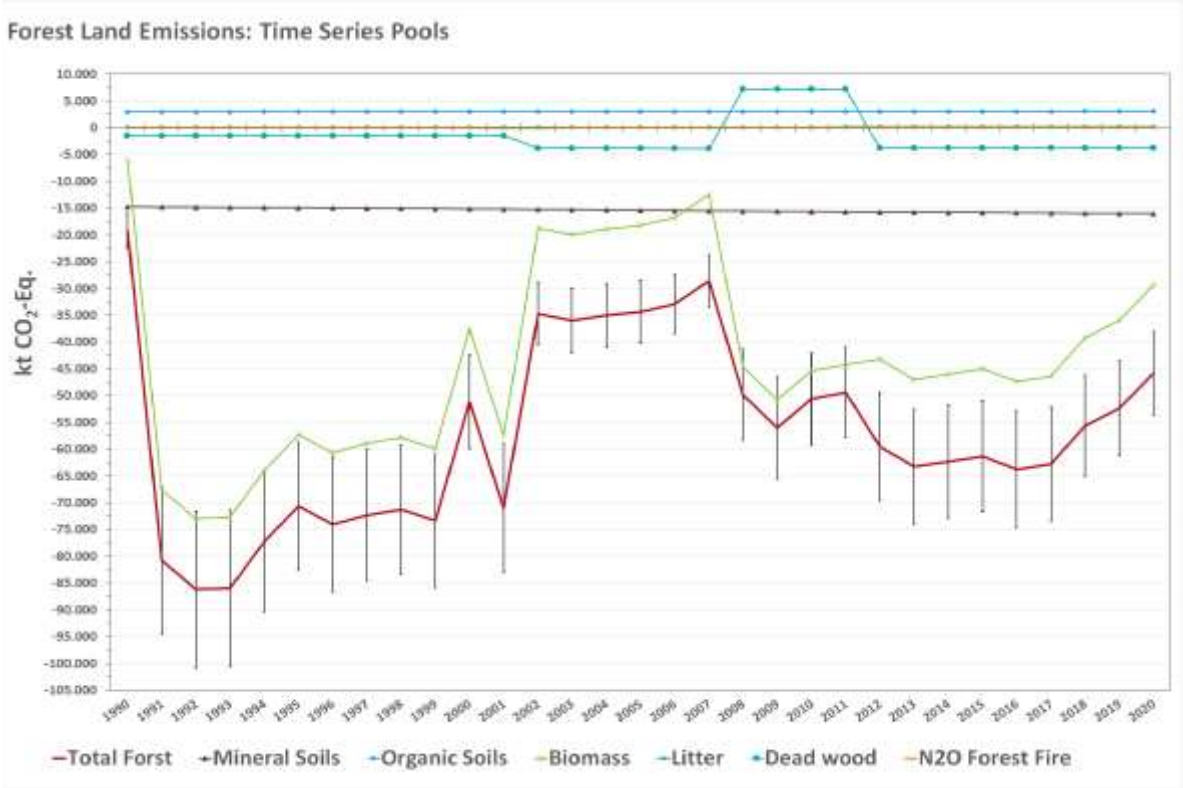


Abbildung 62: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2020 nach Pools



6.4.2 Methodische Aspekte (4.A)

6.4.2.1 Datenquellen

Zur Ermittlung der Waldflächen, der eingetretenen Landnutzungsänderungen, der Schätzung der Emissionsfaktoren für Boden, Biomasse, Streu und Totholz sowie für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bzw. in verschiedenen Zeiträumen sowie für die Emissionsberechnung für Waldbrand, Drainage und Mineralisierung wurden folgende Datenquellen genutzt:

- Bundeswaldinventur 1987 (BWI 1987)
- Bundeswaldinventur 1987 (BWI 1987)
- Bundeswaldinventur 2002 (BWI 2002)
- Bundeswaldinventur 2012 (BWI 2012)
- Inventurstudie 2008 (IS08)
- Kohlenstoffinventur 2017 (CI 2017)
- Datenspeicher Waldfonds (DSWF)
- Holzeinschlagszahlen des Thünen-Instituts für Holzforschung (auch für HWP verwendet)
- Bodenzustandserhebung im Wald I (BZE I)
- Bodenzustandserhebung im Wald II (BZE II)
- Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS®)
- CORINE Land Cover (CLC)
- Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000)
- Karte der organischen Böden Deutschlands (Roßkopf et al., 2015)
- Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland

6.4.2.1.1 Bundeswald- und Zwischeninventuren, Datenspeicher Waldfonds und Holzeinschlagszahlen

Die Bundeswaldinventur erfasst die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten auf Stichprobenbasis nach einem einheitlichen Verfahren in Deutschland. Sie ist eine terrestrische Stichprobeninventur mit permanent markierten Probepunkten in einem 4 km x 4 km Grundnetz, das auf Wunsch der Bundesländer regional verdichtet wurde[108]. Die erste Bundeswaldinventur (BWI 1987) erstreckte sich nur über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in ihren Grenzen vor 1990 und Westberlin und wurde im Zeitraum 1986 bis 1989 (Stichjahr 1987) durchgeführt. Die zweite Bundeswaldinventur (BWI 2002) wurde in den Jahren 2001 bis 2003 (Stichjahr 2002) als Wiederholungsinventur in den alten Bundesländern und als Erstinventur in den neuen Bundesländern durchgeführt (Polley, 2001; Schmitz et al., 2005). Die Erhebungen zur dritten Bundeswaldinventur (BWI 2012) erfolgten von 2011 bis 2012 (Stichjahr 2012) im gesamten Bundesgebiet als Wiederhohlungsinventur. Mit den Daten der BWI 2012 stehen zum Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls Werte zum Zustand und zur Veränderung des Waldes bereit.

Zusätzlich zu den Bundeswaldinventuren wurden Daten zum Zustand des Waldes in den Jahren 2008 und 2017 auf einer Teilstichprobe der Bundeswaldinventur im Netz von 8 km x 8 km ermittelt. Die Inventurstudie 2008 (IS08) und die Kohlenstoffinventur 2017 (CI 2017) bedienen sich im Wesentlichen der Methodik der Bundeswaldinventur (Bundesministerium für Verbraucherschutz, 2010; Riedel et al., 2019; Schwitzgebel et al., 2009).

Der Datenspeicher Waldfonds (DSWF) enthält flächendeckende Forsteinrichtungsdaten für das Gebiet der DDR bis 1993. Diese Daten wurden in periodischen Abständen erhoben und jährlich

[108] weitere Informationen: http://www.bundeswaldinventur.de

mit Wachstumsmodellen fortgeschrieben sowie nach Vollzugs- und Änderungsmeldungen der Forstbetriebe aktualisiert (Bundesministerium für Verbraucherschutz, 1994).

Die Holzeinschlagszahlen werden hergeleitet aus der nationalen Holzeinschlagstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1), die den jährlichen Rohholzeinschlag um circa 30 % unterschätzt, und mit den Daten aus den Waldinventuren über den Abgang von Derbholz kalibriert (Rüter) (vgl. auch Kapitel 6.10.2.1).

6.4.2.1.2 Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

Zur Bestimmung der Kohlenstoffemissionen aus Waldböden wurde die Vorratsänderungsmethode angewandt (IPCC, 2006b). Dazu konnten Daten aus den bodenkundlichen Inventuren BZE I und BZE II genutzt werden. Die BZE I wurde von 1987 bis 1992 und die BZE II von 2006 bis 2008 durchgeführt. Bei allen drei Inventuren wurden sowohl die gesamte organische Auflage, im folgendem nach IPCC 2006 Guidelines Streu genannt, als auch der Mineralboden beprobt. Die Daten der Inventuren wurden von den Bundesländern erhoben.

Bei der BZE I (Wolff & Riek, 1997) und BZE II (Wellbrock et al., 2006) wurden Waldböden deutschlandweit in einem Raster von 8 km x 8 km beprobt. Dazu wurden an jedem Rasterpunkt in einem Radius von 10 m acht Satellitenproben um eine zentrale Bodengrube mit freigelegtem Bodenprofil genommen. Die Anzahl der Rasterpunkte betrug bei der BZE I 1800 und bei der BZE II 2000. Die Zunahme in der Stichprobenanzahl zwischen beiden Inventuren erklärt sich v.a. dadurch, dass Flächen betreten werden durften, bei denen zuvor keine Zutrittserlaubnis vorlag (z.B. sind alte Truppenübungsplätze jetzt zugänglich).

Die Rasterpunkte der beiden Inventuren lagen zum Großteil jeweils innerhalb eines Radius von 30 m. Bei ca. 400 Punkten ist es zu einer systematischen Rasterverschiebung gegenüber der BZE I gekommen.

Für die BZE I liegt eine Datenbank mit ca. 1800 Punkten vor, für die Kohlenstoffvorräte in Streu und Mineralboden (0-30 cm) berechnet wurden (Wolff & Riek, 1997). Für die BZE II wurden von den Bundesländern ca. 2000 Punkte an eine gemeinsame Bundesdatenbank übermittelt. Von den 2000 Stichprobenpunkten, die aus der BZE II zur Verfügung stehen, gibt es für ca. 1.800 Rasterpunkten Kohlenstoffvorräte[109].

6.4.2.2 Biomasse (CRF -Table 4.A)

6.4.2.2.1 Verbleibende Waldfläche

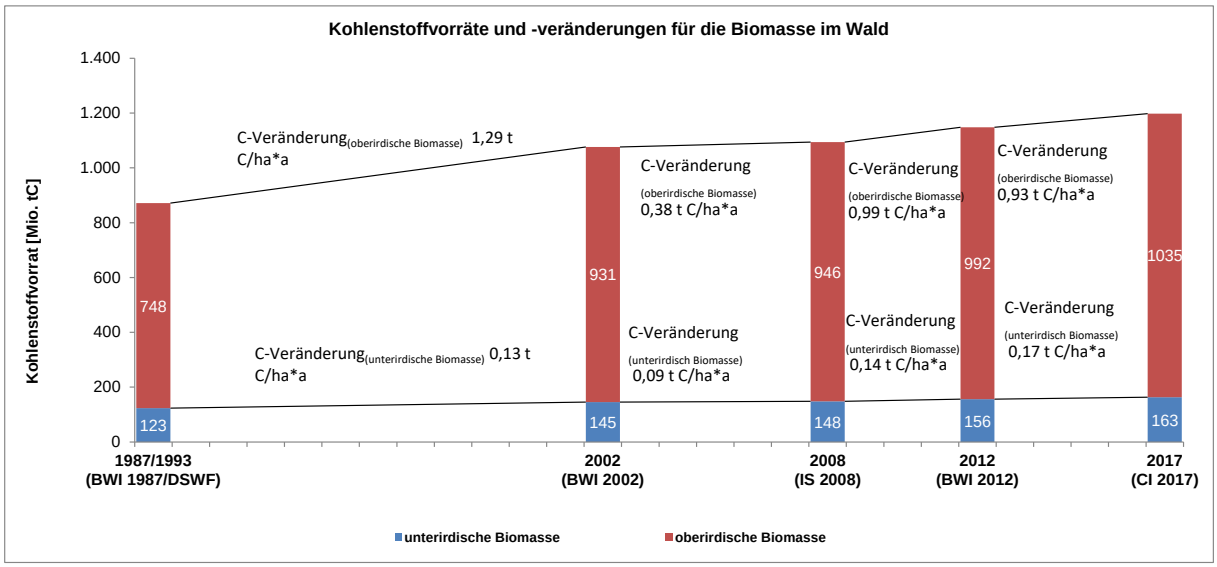
Die Berechnung der Änderungen der Kohlenstoffvorräte für die Biomasse erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (stock-difference method, Equation 2.8 2006 IPCC Guidelines). Dabei werden nur Waldflächen berücksichtigt, die zu beiden Zeitpunkten Wald waren (Forest Land remaining Forest Land). Aufforstungs- und Entwaldungsflächen (Land to Forest Land and Forest Land to Land) werden nicht berücksichtigt und werden jeweils separat mit der Vorratsveränderungsmethode (stock-difference method) berechnet. Durch die Anwendung dieser Methode erhält man einen durchschnittlichen landesspezifischen Emissionsfaktor (EF) für die Zeiträume zwischen den jeweiligen Inventuren. Diese Emissionsfaktoren werden mit die jährlichen Holzeinschlagszahlen kalibriert, so dass für jedes Jahr ein an den Holzeinschlag angepasster EF vorliegt. Die Beschreibung des methodischen Vorgehens findet sich in Röhling et al. (2016).

In Abbildung 63 sind die Kohlenstoffvorräte und –veränderungen für die Inventurzeitpunkte und –perioden angegeben. Auch diese Zahlen verdeutlichen die Zunahme des Kohlenstoffvorrates in

[109] siehe: https://www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/waldmonitoring/bodenzustandserhebung/

den Wäldern, wobei hier nur die Vorräte für die verbleibenden Waldflächen ohne Neuwaldflächen berücksichtigt wurden. Die Kohlenstoffveränderungswerte sind die EF für die entsprechende Periode. Die Wälder der Bundesrepublik Deutschland sind damit insgesamt eine Nettosenke für Kohlenstoff.

Abbildung 63: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Phytomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012 und 2017



In Abbildung 64 sind die Holzeinschlagszahlen für Deutschland dargestellt. Die methodische Beschreibung für die herleitung der Zahlen findet sich in Kapitel 6.10.2.1 und in (Rüter). Mit den Zahlen der Einschlagsrückrechnung wurden die jährlich EF hergeleitet, die in Tabelle 363 zu finden sind..

Abbildung 64: Holzeinschlag in Deutschland

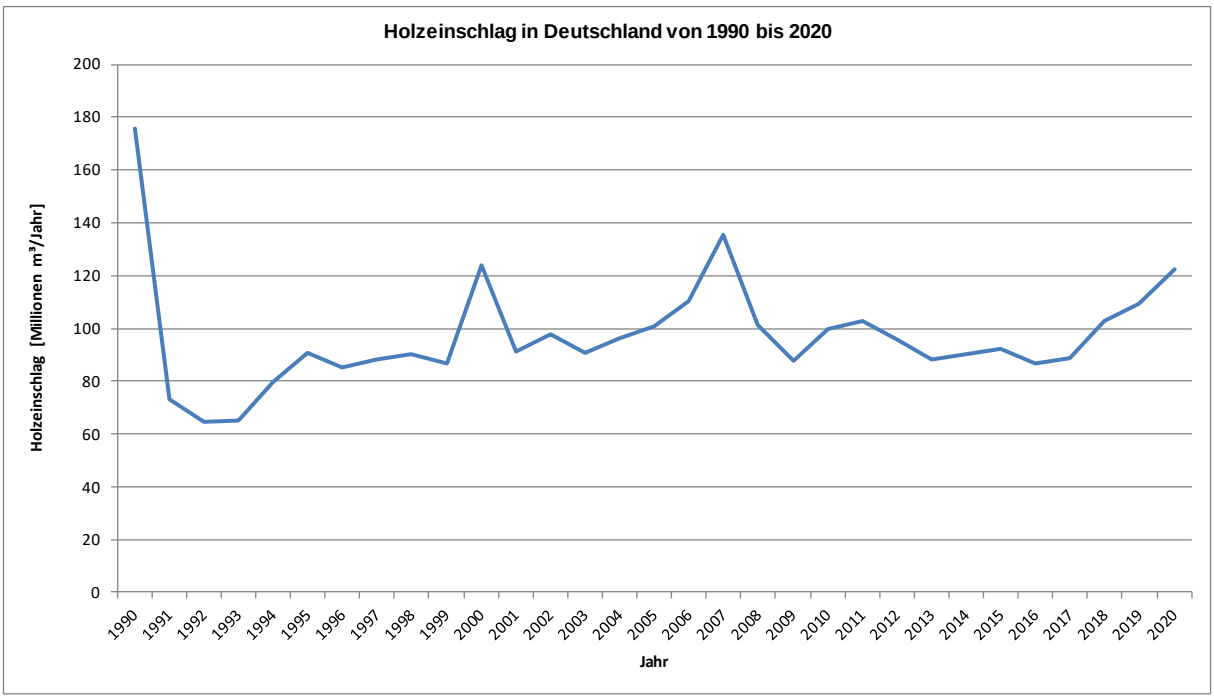


Tabelle 363: Emissionsfaktoren der verbleibenden Waldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse

Jahr	EF oberirdische Biomasse [t C*ha]	EF unterirdische Biomasse [t C*ha]
1990	0,14	0,01
1995	1,34	0,13
2000	0,87	0,08
2005	0,38	0,10
2010	0,99	0,14
2015	0,96	0,17
2016	1,02	0,18
2017	1,00	0,18
2018	0,85	0,15
2019	0,78	0,14
2020	0,64	0,11

Auffällig sind die sehr niedrigen Emissionsfaktoren in den Jahren 1990 und 2007, die mit dem hohen Hozeinschlag in den Jahren korreliert. Dies ist auf Sturmereignisse mit sehr hohem Schadholzanfall zurückzuführen. 1990 traf auf Deutschland eine Serie von Orkanen mit einem daraus resultierenden Sturmholzaufkommenvon ca. 70 Mill. m^3. 2007 war es der Sturm Kyrill mit einem Sturmholz von ca. 37 Mill m^3. Aktuell haben wir durch Trockenheit und daraus resultierenden Käferbefall für die Jahren 2018 bis Mitte 2020 ein geschätztes Schadholzaufkommen von ca. 178 Mill. m^3 (BMEL, 2020). In den Berichtszahlen für die Jahre 2018 bis 2020 spiegeln sich diese Schadholzmengen noch nicht in dem großen Umfang wider. In den Holzeinschlagszahlen wird nur das Holz berücksichtigt, welches geerntet und der Holzverwendung inkl. Lager zugeführt wurde. Schadholz, welches im Wald verbleibt, wird nicht berücksichtigt. Für die Abschätzung dieses Schadholzes gibt es aktuell keine zuverlässigen Zahlen.

Ein anderer Aspekt ist der Wechsel dieses Schadholzes von dem Pool Biomasse zu dem Pool Totholz, was in der Bilanz für die Berichtersattung in einer ähnlichen Größenordnung liegt. Dies

abzuschätzen wird erst mit verlässlichen Daten, die voraussichtlich mit den Ergebnissen der nächsten Bundeswaldinventur vorliegen, möglich sein.

6.4.2.2.2 Neuwaldfläche

Die Berechnung der Änderungen der Kohlenstoffvorräte für die Biomasse auf Neuwaldflächen erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz gemäß der *2006 IPCC Guidelines nach der* Formel 2.16. Dabei wird die Vorratsveränderung durch die Differenz zwischen dem Biomassevorrat vor und nach der Umwandlung gebildet (siehe auch Kapitel 6.1.2.3). In den CRF-Tabellen wird der Biomassevorrat der Vornutzung, der verloren geht, bei "losses" und der Biomassezuwachs der Neuwaldfläche bei "gains" eingetragen.

Die BWI unterscheidet zwischen Waldflächen die aufgeforstet worden (Land to Forest Land), Flächen die schon Wald sind (Forest Land remaining Forest Land) und Flächen die entwaldet worden (Forest Land to Land). Die Veränderungsrechnung erfolgt getrennt nach Aufforstung, verbleibender Wald und Entwaldung. Die hier berechneten Vorratsveränderungen (stock-difference-methode) beziehen sich nur auf die Aufforstungsflächen.

Für die Neuwaldfläche wurde auf Basis der BWI 1987, BWI 2002, IS2008, BWI 2012 und CI 2017 eine Einzelbaumberechnung durchgeführt. Für den Zeitraum bis 2002 wurden nur Bäume in den alten Bundesländern berücksichtigt, da die BWI 1987 nur dort durchgeführt wurde. Ab dem Jahr 2002 erfolgte eine Berechnung für Gesamtdeutschland. Die Kohlenstoffvorräte der Biomasse wurden für jede Umwandlungsfläche einer Landnutzungskategorie in Wald berechnet und am Ende in der Kategorie Neuwald zusammengefasst. Die Vorräte der Vornutzungskategorien wurden abgezogen und somit berücksichtigt.

Da für den Zeitraum von 1990 bis 2002 in den neuen Bundesländer die Holzvorräte der Neuwaldflächen nicht direkt aus dem Vergleich zweier Inventuren abgeleitet werden konnten, wurden die Werte der alten Bundesländer verwendet.

Zu beachten ist, dass die Aufforstungsflächen 20 Jahre in dieser Landnutzungskategorie verbleiben. Bei den jährlich hinzukommenden Flächen ist der Kohlenstoffvorratsverlust von der Vornutzung im Umwandlungsjahr zu berücksichtigen, der sofort als Emission gewertet wird.

In Tabelle 364 sind die EF für die jährliche Zunahme der ober- und unterirdischen Biomasse auf Aufforstungsflächen ohne die Vornutzung zusammengefasst.

Tabelle 364: EF für die Neuwaldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse

Periode	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2020
EF oberirdische Biomasse [t C*ha]	-0,70	-0,22	-1,94	-0,86
EF unterirdische Biomasse [t C*ha]	-0,14	-0,06	-0,34	-0,18

6.4.2.2.3 Herleitung der Einzelbaumbiomassen

Die Schätzung der oberirdischen Biomasse erfolgt durch Biomassefunktionen, die mit den Daten der Bundeswaldinventuren hergeleitet werden. Weitere Informationen finden sich in Kändler and Bösch (2013) und im Kapitel 6.4.2.2.4. Auch die unterirdische Biomasse wird über Biomassefunktionen hergeleitet. Dies geschieht mit Hilfe bundesweit repräsentativer Funktionen (siehe Kapitel 6.4.2.2.5).

Für die Berechnung von Kohlenstoffvorräten wurden für 1987 für die alten Bundesländer die Daten der BWI 1987 (ca. 230.000 vermessene Bäume) verwendet. Für die neuen Bundesländer liegen mit dem Datenspeicher Waldfonds die Daten der Forsteinrichtung bis 1993 in aggregierter Form zur Kohlenstoffvorrats-Berechnung vor. Die BWI 2002, mit ca. 377.000 vermessenen Bäumen bildet die Datengrundlage für das Stichjahr 2002. Hinzugekommen sind die Daten der BWI 2012 mit rund 537.000 aufgenommenen Bäumen. Ergänzt werden die BWI-

Daten durch die wiederholte Aufnahme von ca. 83.000 Bäumen in der Inventurstudie 2008 sowie ca. 96.000 Bäumen in der Kohlenstoffinventur 2017. Diese Datenquellen bilden so gute Berechnungsgrundlagen für die Kohlenstoffvorrats-Veränderungsschätzungen, dass die Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, IPCC (2006b)) der Biomasse-Zunahme-Abnahme-Methode (Gain-Loss Method, IPCC (2006b)) vorgezogen werden konnte.

6.4.2.2.4 Konvertierung in oberirdische Einzelbaumbiomasse

Die rund 1600 Bäume der Studie von Kändler and Bösch (2013) beschränkten sich auf die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. Alle weiteren Baumarten werden mit Ausnahme der Weichlaubhölzer den bereits genannten zugeordnet. Würden die Weichlaubhölzer ebenfalls der Baumart Buche zugeordnet und die entsprechenden Funktionen und Koeffizienten angewendet, wäre eine deutliche Überschätzung der Biomasse für diese Baumartengruppe die Folge. Aus diesem Grund wurde über sogenannte Pseudobeobachtungen basierend auf den Grundner and Schwappach (1952)-Tafeln für die Weichlaubhölzer eine Biomassefunktion gleichen Typs angepasst.

Die Biomassefunktionen nach Baumartengruppen gliedern sich in drei Teile:

- Bäume >= 10 cm Brusthöhendurchmesser (BHD)
- Bäume >= 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD sowie
- Bäume < 1,3 m Höhe

Bei Bäumen < 1,3 m Höhe (hier kann kein BHD gemessen werden) ist eine Differenzierung nach den genannten 5 Baumartengruppen nicht mehr sinnvoll. Deshalb wird hier nur nach Nadel- und Laubholz unterschieden. In den Übergangsbereichen wurden die Funktionen mit Hilfe statistischer Verfahren geglättet, so dass hier mögliche Sprünge zwischen den Funktionen vermieden werden konnten.

Im Folgenden sind die Funktionen zur Ableitung der oberirdischen Biomasse aus den Bundeswaldinventurdaten und deren Koeffizienten, getrennt nach Baumartengruppen aufgeführt.

Bäume ab 10 cm BHD

Gleichung 40:

$$Y_{BIOM_0} = b_0 e^{b_1 \frac{BHD}{BHD+k_1}} e^{b_2 \frac{D03}{D03+k_2}} H^{b_3}$$

mit Y_{BIOM_0} = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum,
$b_{0,1,2,3}$ und $k_{1,2}$ = Koeffizienten der Marklundfunktion,
BHD = Brusthöhendurchmesser in cm,
D03 = Durchmesser in cm auf 30% der Baumhöhe,
H = Baumhöhe in m.

Tabelle 365: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume >= 10 cm BHD

Baumart	b_0	b_1	b_2	b_3	k_1	k_2	RMSE%
Fichte	0,75285	2,84985	6,03036	0,62188	42,0	24,0	11,2
Kiefer	0,33778	2,84055	6,34964	0,62755	18,0	23,0	15,6
Buche	0,16787	6,25452	6,64752	0,80745	11,0	135,0	18,8
Eiche	0,09428	10,26998	8,13894	0,55845	400,0	8,0	12,1
Weichlaubholz	0,27278	4,19240	5,96298	0,81031	13,7	66,8	50,0[110]

Bäume > 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD

Gleichung 41:

$$Y_{BIOM_0} = b_0 + \left(\frac{b_s - b_0}{d_s^2} + b_3(BHD - d_s)\right) BHD^2$$

Y_{BIOM_0} = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum,

$b_{0,s,3}$ = Koeffizienten der Funktion,

BHD = Brusthöhendurchmesser in cm ,

d_s = Durchmessergültigkeitsgrenze für diese Funktion = 10 cm.

Tabelle 366: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume >= 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD

Baumart	b_0	b_s	b_3
Fichte	0,41080	26,63122	0,01370
Kiefer	0,41080	19,99943	0,00916
Buche	0,09644	33,22328	0,01162
Eiche	0,09644	28,94782	0,01501
Weichlaubholz	0,09644	16,86101	-0,00551

Bäume < 1,3 m Höhe

Gleichung 42:

$$Y_{BIOM_0} = b_0 \, H_1^b$$

Y_{BIOM_0} = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum,

$b_{0,1}$ = Koeffizienten der Funktion,

H = Baumhöhe in m.

Die Baumhöhe bei Bäumen unter 1,3 m Höhe wird bei der Bundeswaldinventur lediglich in zwei Stufen erfasst: 20-50 cm und 50-130 cm, so dass hier in die Funktion die jeweiligen Mittelwerte dieser Klassen von 35 cm und 90 cm als Standardwerte eingesetzt werden.

Tabelle 367: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume < 1,3 m Höhe

Baumart	b_0	b_1
Fichte	0,23059	2,20101
Buche	0,04940	2,54946

Für die Neuen Bundesländer lagen für den Zeitpunkt 1990 keine Inventurdaten vor. Einzige verfügbare Datenquelle ist der Datenspeicher Waldfonds von 1993, welcher die Vorräte und die Waldflächen für die Neuen Bundesländer nach einer einheitlichen Methode erfasst. Deshalb wurden die Derbholzvorräte mittels der in Burschel et al. (1993) beschriebenen Methoden in Biomasse umgewandelt. In einem ersten Schritt wird das Derbholzvolumen mit dem Wurzelprozent multipliziert, so dass daraus die Angabe des unterirdischen Volumens resultiert.

[110] Für diese Funktion ist keine Angabe des RMSE% verfügbar, deshalb wurde der IPCC Standardwert von 50% eingesetzt.

Anschließend wird das Derbholzvolumen und das unterirdische Volumen mit einem Volumensexpansionsfaktor multipliziert. Daraus resultiert das gesamte Baumholzvolumen. Wird vom Baumholzvolumen das Derbholz- und unterirdische Volumen subtrahiert, erhält man das Astvolumen. Anschließend werden die Volumina mit der Raumdichte multipliziert, wobei für das Astvolumen nach Pistorius et al. (2007) spezifische Raumdichten verwendet werden. Alle Werte sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Tabelle 368: Wurzelprozent und Raumdichten zur Konvertierung der Datenspeicher Waldfonds-Daten

Baumart	Wurzelprozent (bis 20 Jahre)	Wurzelprozent (> 20 Jahre)	RMSE%	Raumdichte (Derbholz und Wurzel)	Raumdichte (Astholz)	RMSE%
Fichte	100	30	50	0,38	0,49	18,8
Tanne	100	25	50	0,36	0,49	22,7
Douglasie	100	25	50	0,41	0,49	20,7
Kiefer	100	25	50	0,43	0,49	27,2
Lärche	100	25	50	0,49	0,49	18,2
Buche	100	25	50	0,56	0,54	13,7
Eiche	100	25	50	0,57	0,57	19,8
Hartlaubholz	100	25	50	0,56	0,57	15,0
Weichlaubholz	100	25	50	0,46	0,54	8,7

Tabelle 369: Volumensexpansionsfaktoren zur Konvertierung von Derbholzvolumen + unterirdischem Volumen zum Baumholzvolumen der Datenspeicher Waldfonds-Daten

Baumart	0 bis 20 Jahre	21 bis 40 Jahre	41 bis 60 Jahre	61 bis 80 Jahre	81 bis 100 Jahre	101 bis 120 Jahre	121 bis 140 Jahre	141 bis 160 Jahre	> 160 Jahre	RMSE%
Fichte	4	1,65	1,51	1,45	1,45	1,45	1,46	1,47	1,48	50
Tanne	4	1,52	1,44	1,44	1,38	1,41	1,41	1,42	1,41	50
Douglasie	4	1,65	1,51	1,45	1,45	1,45	1,46	1,47	1,48	50
Kiefer	4	1,51	1,42	1,40	1,36	1,34	1,34	1,34	1,33	50
Lärche	4	1,51	1,42	1,40	1,36	1,34	1,34	1,34	1,33	50
Buche	4	1,69	1,47	1,41	1,38	1,39	1,39	1,38	1,39	50
Eiche	4	1,58	1,41	1,39	1,37	1,35	1,34	1,35	1,34	50
Hartlaubholz	4	1,69	1,47	1,41	1,38	1,39	1,39	1,38	1,39	50
Weichlaubholz	4	1,69	1,47	1,41	1,38	1,39	1,39	1,38	1,39	50

Sowohl für das Wurzelprozent als auch für den Volumensexpansionsfaktor sind keinerlei Unsicherheiten bekannt. Aus diesem Grund wird hier der IPCC Standardwert von 50 % verwendet.

6.4.2.2.5 Konvertierung in unterirdische Biomasse

Um zwischen der Herleitung der oberen und der unteren Biomasse vergleichbare und transparente Methoden anwenden zu können, werden seit der Submission 2015 Biomassefunktionen basierend auf begutachteten Artikeln verwendet. Für die Kiefer wurde vom Thünen Institut eine eigene Biomassefunktion zur Ableitung der unterirdischen Biomasse entwickelt. Alle gewählten Biomassefunktionen entsprechen der Gleichung 43.

Gleichung 43:

$$Y_{BIOM_u} = b_0\, BHD^{(b_1)}$$

Y_{BIOM_u} = unterirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum

$b_{0,1}$ = Koeffizienten der unterirdischen Biomassefunktion.

BHD = Brusthöhendurchmesser in cm

Tabelle 370: Koeffizienten, Parameter, Unsicherheiten und Quellen für die verwendeten Biomassefunktionen, unterteilt nach Baumarten

Baumart	b_0	Parameter	b_1	RMSE%	Region	Quelle
Fichte	0.003720	BHD [cm]	2.792465	34,6	Solling	**(Bolte et al., 2003)**
Kiefer	0.006089	BHD [cm]	2.739073	26,3	Barnim	(Neubauer & Demant, 2016)
Buche	0.018256	BHD [cm]	2.321997	49,0	Solling	(Bolte et al., 2003)
Eiche	0.028000	BHD [cm]	2.440000	50,0[111]	Nordost Frankreich	(Drexhage & Colin, 2001) in (Bolte et al., 2003)
Weichlaubholz (Wurzelbiomasse)	0.000010	BHD [mm]	2.529000	9,6	Südschweden	(Johansson & Hjelm, 2012)
Weichlaubholz (Wurzelstumpfbiomasse)[112]	0.000116	BHD [mm]	2.290300	15,9	Südschweden	(Johansson & Hjelm, 2012)

Auf die Verwendung von log-Funktionen, welche in der Literatur ebenfalls vorhanden sind (siehe Abbildung 65), wurde bewusst verzichtet. Eine „Rücktransformierung" der Fehlerwerte zur Weiterverwendung im Fehlerbudget ist nicht möglich bzw. es stellte sich heraus, dass bei Vorliegen der original Messwerte, die log-Fehlerangaben nach einer „Rücktransformation" ähnlich hoch ausfallen, wie in der ursprünglichen Skaleneinheit.

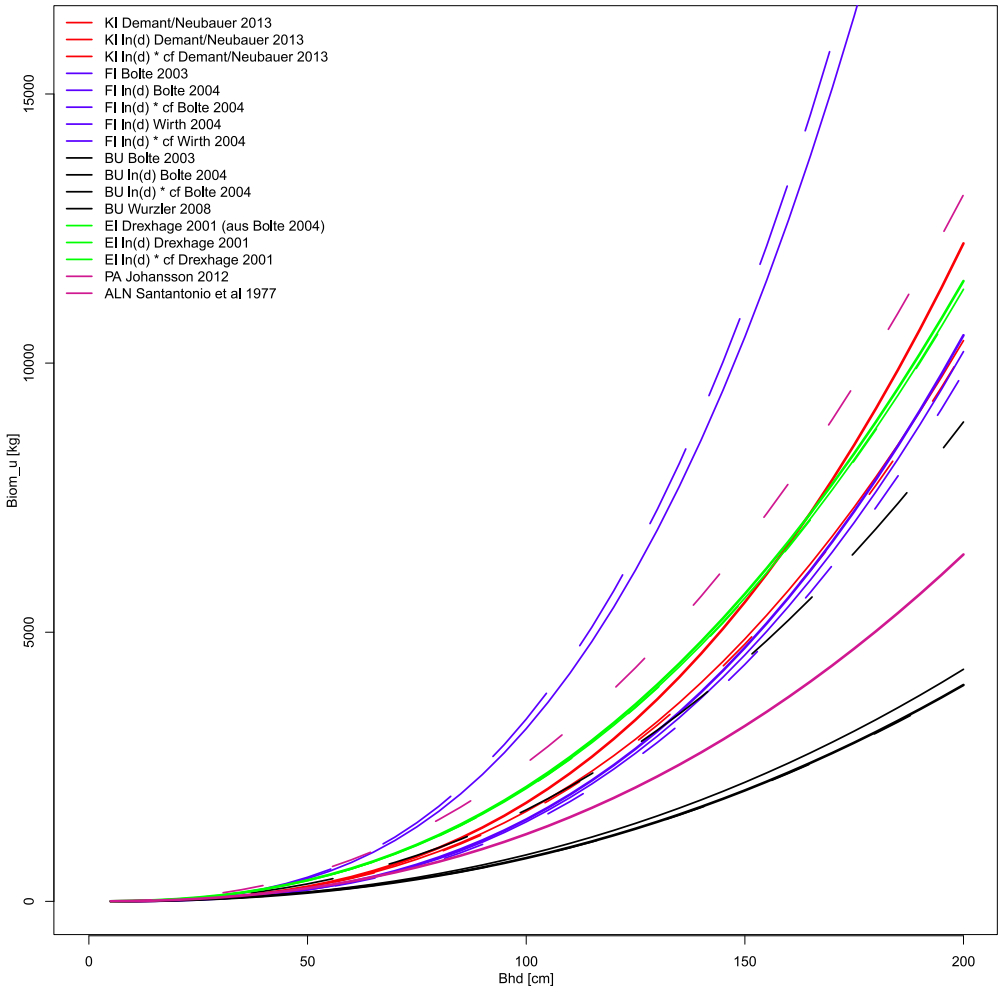
Neben der Thünen-Institut-eigenen Kiefernfunktion (Neubauer & Demant, 2016) ist auch die Funktion von Drexhage and Colin (2001) in Bolte et al. (2003) für Eiche in Europa einzigartig. Die gewählten Funktionen für Buche und Fichte decken einen wesentlich breiteren Bereich in der BHD-Verteilung ab, vor allem im stärkeren Bereich, als Vergleichsstudien von Wutzler et al. (2008) und Wirth et al. (2004). Die Funktionen haben somit einen wesentlich geringeren Extrapolationsbereich, wodurch ein „abdriften" der Biomassewerte nach oben vermieden wird (siehe Abbildung 65).

Gleichzeitig wurden die gewählten Funktionen für Fichte und Buche jedoch nur in einem kleinen Gebiet, dem Solling erhoben. Dagegen beziehen die Funktionen von Wutzler et al. (2008) und Wirth et al. (2004) Daten aus verschiedenen, geographisch unterschiedlichen Studien ein.

Dieser Vergleich der gewählten Funktionen für Fichte, Buche und Weichlaubholz (jeweils durchgezogene Linie in Abbildung 65) mit weiteren Veröffentlichungen zeigt, dass die gewählten Funktionen stets konservative Biomassevorräte schätzen. Die Veränderungsraten zwischen zwei Zuständen sind somit ebenfalls im Bezug auf andere Funktionen gering. Da in der Kategorie der unterirdischen Biomasse über den gesamten Berichtszeitraum Kohlenstoff akkumuliert wird, sind die Schätzungen zur Sequestrierungsrate als konservativ zu werten.

[111] Für diese Funktion ist keine Angabe des RMSE% verfügbar, deshalb wurde der IPCC-Default von 50% eingesetzt.
[112] Der mittlere RMSE% beider Funktionen (Wurzelstumpfmasse + Wurzelmasse) beträgt 24,2%.

Abbildung 65: Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse



6.4.2.2.6 Konvertierung der Einzelbaumbiomasse in Kohlenstoff

Für die Konvertierung der Biomasse in in Kohlenstoffvorräte wurde ein Wert von 0,5 angewandt. Wirth et al. (2004) berichten, dass die Unterschiede zwischen den Kompartimenten innerhalb einer Baumart größer sind als die Unterschiede zwischen den Baumarten. Sie kommen auf eine Spanne von 0,5 bis 0,56 g C g^{-1} in Nadelbäumen. Der relative Standardfehler des Kohlenstoffgehaltes in Holz wird von Burschel et al. (1993) mit 1 bis 2 % angegeben, Weiss et al. (2000) benutzten 2 %. Insgesamt scheint daher ein mittlerer Kohlenstoffgehalt von 0,5 g C g^{-1} als gute Annahme für den durchschnittlichen Gehalt mit einem relativen Standardfehler von ± 2 % als angemessen.

6.4.2.2.7 Zustandsschätzer für 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017

Einige Bundesländer verwenden ein Stichprobennetz, das dichter ist als 4 x 4 km. Darüber hinaus haben einige Bundesländer das Stichprobennetz zwischen den Inventuren verdichtet. Daher muss die Hochrechnung auf die Bundesfläche stratifiziert nach homogenen Netzdichten, sogenannten Samplingstraten, erfolgen. An dieser Stelle werden die Hochrechnungsprozeduren für den stratifizierten Stichprobenplan für die Zielgrößen Derbholzvorrat, Biomasse und Kohlenstoff zu einem Zeitpunkt vorgestellt. Berechnet werden die Zustände zu den Zeitpunkten 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017. Die Hochrechnungsalgorithmen sind für unterschiedliche Aussageeinheiten (gesamtes Bundesgebiet, verschiedene Regionen (Alte/Neue Bundesländer) und unterschiedliche LULUCF- bzw. ARD-Kategorien) identisch.

Die Bundeswaldinventur ist eine Traktstichprobe. Die kleinste Stichprobeneinheit ist der Trakt (Cluster) mit vier Trakt-Ecken (Probepunkten). An der Grenze des Inventurgebietes bzw. der Straten gibt es jedoch unvollständige Trakte mit variabler Größe, d.h. die Anzahl Stichprobenpunkte (Trakt-Ecken im Wald und Nichtwald) innerhalb eines Traktes kann zwischen den Werten 1 bis 4 variieren. Für jeden Trakt *c*, der im Stratum *l* lokalisiert ist, muss vorab die lokale Dichte (*Y*) berechnet werden:

Gleichung 44:

$$Y_{lc} = \frac{\sum_{m=1}^{M} I_{l,c,m} Y_{l,c,m}}{M_{l,c}}$$

Y = lokale Stichprobendichte

l = Stratum

c = Trakt

m = Stichprobenpunkt

M = Anzahl Stichprobenpunkte

Daraus ergibt sich der Mittelwertschätzer der Dichte bezogen auf Wald und Nichtwald für das Stratum *l* wie folgt:

Gleichung 45:

$$\hat{\bar{Y}}_l = \frac{\sum_{c_l=1}^{C_l} M_{l,c} Y_{lc}}{\sum_{c_l=1}^{C_l} M_l}$$

$\hat{\bar{Y}}$ = gewichteter Mittelwert der lokalen Stichprobendichte

l = Stratum
c = Trakt
C = Anzahl Trakte
M = Anzahl Stichprobenpunkte
Y = lokale Stichprobendichte

Der Gesamtschätzer für eine Zielgröße über alle Straten hinweg ist ein mit den Flächenanteilen der Straten gewichteter Mittelwert aus den einzelnen Stratenschätzern:

Gleichung 46:

$$\hat{\bar{Y}}_{st} = \sum_{l=1}^{L} \hat{\bar{Y}}_l \frac{\lambda(U_{l)}}{\lambda(U)}$$

$\hat{\bar{Y}}_{st}$ = Gesamtschätzer

l = Stratum
U = Fläche
λ= Schätzgröße

Das Total einer Zustandsschätzung ergibt sich durch Multiplikation des Gesamtschätzers mit der Gesamtfläche *λ(U)*.

Gleichung 47:

$$\hat{Y}_{st} = \hat{\bar{Y}}_{st}\lambda(U)$$

$\hat{Y}_{st}$= Total Zustandsschätzung

st = Zustand
U = Fläche
λ = Schätzgröße

Der (wald-) flächenbezogene Mittelwert ist definiert als Quotienten- oder Ratioschätzer aus:

Gleichung 48:

$$\hat{R}_{st} = \frac{\hat{Y}_{st}}{\lambda(U_{Wald})}$$

$\hat{R}_{st}$ = Ratioschätzer
$\hat{Y}_{st}$= Totaler Zustandsschätzer
U_{Wald} = Waldfläche
λ = Schätzgröße

6.4.2.2.8 Schätzer für die Vorratsveränderung nach der „Stock-Difference-Method“

Für die Berechnung der Veränderung zwischen zwei Zeitpunkten (den Perioden 1987-2002, 2002-2008 bzw. 2008– 2012 und 2012-2017) wurde die CFI (Continuous Forest Inventory) Methode gewählt, d.h. für die Hochrechnung werden nur die Traktecken herangezogen, die zu beiden Zeitpunkten aufgenommen wurden. Die Veränderungsschätzung beruht somit auf der Differenz beider Zustandsschätzungen. Auf Ebene der Straten wird die Gesamtveränderung geschätzt durch:

Gleichung 49:

$$\hat{G}_l = \hat{Y}_l^{(t_2)} - \hat{Y}_l^{(t_1)}$$

$\hat{G}_l$= Gesamtveränderung im Stratum
l = Stratum
t = Zeitpunkt
$\hat{Y}$= Zustandsschätzung

Die Schätzung der Gesamtveränderung über die Straten hinweg für die gesamte Aussageeinheit erfolgt analog zu Gleichung 49. Die Schätzung des Veränderungstotals berechnet sich nach Gleichung 50. Die Veränderung des flächenbezogenen Mittelwertes ergibt sich aus:

Gleichung 50:

$$\hat{G}_{R_{st}} = \hat{R}_{st}^{(t_2)} - \hat{R}_{st}^{(t_1)}$$

$\hat{G}_{R_{st}}$= Gesamtveränderung über die Straten
t = Zeitpunkt
$(\hat{R}_{st})$= Ratioschätzer

6.4.2.2.9 Herleitung der jährlichen Veränderungsschätzungen

Da es sich bei der Bundeswaldinventur um eine periodisch wiederkehrende Inventur handelt, können für die Jahre in den Perioden nur durchschnittliche EF ermittelt werden. Um die Variabilität in den Perioden zu ermöglichen, wurde die Holzeinschlags-Faktor-Methode (logging factor method) verwendet (Röhling et al., 2016). Die durch die Holzernte verursachten Kohlenstoffverluste beeinflussen die Änderung der Kohlenstoffvorräte. Je höher die Menge des geernteten Holzes und den dadurch verursachten Kohlenstoffverlust in einem bestimmten Jahr im Vergleich zum periodischen Durchschnitt ist, desto mehr wird der EF entsprechend der Holzernte angepasst. Für die Holzeinschlags-Faktor-Methode (LFM) kommen folgende Gleichungen zur Anwendung:

Gleichung 51:

$$EF_{LFM} = EF * (1 + F_1)$$

EF_{LFM} = Jährlicher mit dem Holzeinschlag korrigierter Emissionsfaktor (tC/ha*a)
EF = Durchnittlicher Emissionsfaktor der Inventurperiode (tC/ha*a)
F_1 = Korrekturfaktor

Gleichung 52:

$$F_1 = \frac{(L_{fp} - L_{fa})}{L_{fp}}$$

F_1 = Korrekturfaktor
L_{fa} = jährlicher Holzeinschlag (m^3)
L_{fp} = periodischer Holzeinschlag (m^3)

6.4.2.3 Totholz (CRF-Table 4.A)

6.4.2.3.1 Verbleibende Waldfläche

Die Berechnung der Änderung des Totholzkohlenstoffvorrates erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, Equ. 2.19, IPCC (2006b)).

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Totholz wurden die Daten der BWI 2002 (Schmitz et al., 2005), der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 verwendet. Totholzdaten zum Zeitpunkt der BWI 1987 stehen nicht zur Verfügung, da bei dieser Inventur kein Totholz aufgenommen wurde. Die terrestrische Aufnahme der BWI 2002 beschränkte sich auf Totholz mit einem Durchmesser ab 20 cm am dickeren Ende bei liegendem Totholz bzw. BHD bei stehendem Totholz sowie Stöcke ab 50 cm Höhe oder 60 cm Schnittflächendurchmesser (Polley, 2001). Aufgrund der Vorgaben der Klimaberichterstattung wurde die Erfassungsgrenze für Totholzobjekte bei den Erhebungen der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der CI 2017 auf einen Durchmesser ab 10 cm am dickeren Ende gesenkt (BMELF, 2010). Bei allen drei Waldinventuren erfolgte eine Unterteilung in die drei Baumartengruppen Nadelbäume (NDH), Laubbäume (LBH) (außer Eiche) und Eiche (EI). Der Zersetzungsgrad des Totholzes wurde in vier Klassen angesprochen (BMELF, 2010), (Polley, 2001).

Für die Berichterstattung nach den 2006 IPCC Guidelines wurde aus den in der Inventurstudie erhobenen Daten die Relation des Totholzvorrates zwischen der Aufnahmegrenze von 10 cm und 20 cm ermittelt. Unter der Annahme, dass dieses Verhältnis zum Zeitpunkt der BWI 2002 gleich war, erfolgte die Schätzung des Totholzvorrates ab 10 cm Aufnahmegrenze für das Jahr 2002. Für die Totholzvorräte der BWI 2002 der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der CI 2017 wurde die Biomasse für die einzelnen Zersetzungsgrade mit der Raumdichte nach Fraver et al. (2002)

für Nadelholz und nach Müller-Using and Bartsch (2009) für Laubholz ermittelt. Für die Berechnung der Raumdichte des Laubholzes wurden die Totholzobjekte der Baumartengruppen Laubbäume (außer Eiche) und Eiche zusammengelegt. Einen Überblick über die verwendeten Biomasse-Expansionsfaktoren und deren Fehler getrennt nach Baumartenklassen und Zersetzungsgraden finden sich in Tabelle 371.

Tabelle 371: Biomasse Expansionsfaktoren (BEF) und deren Fehler (RMSE%) für die Baumartenklassen und Zersetzungsgrade (NDH = Nadelbäume, LBH = Laubbäume, EI = Eiche)

Totholzart	Zersetzungsgrad		BEF	RMSE%	Quelle
NDH	1	frisch abgestorben	0.372	17,2	**(Fraver et al.)**
NDH	2	beginnende Zersetzung	0.308	27,9	(Fraver et al.)
NDH	3	fortgeschrittene Zersetz.	0.141	35,5	(Fraver et al.)
NDH	4	stark vermodert	0.123	25,2	(Fraver et al.)
LBH	1	frisch abgestorben	0.58	12,1	(Müller-Using & Bartsch)
LBH	2	beginnende Zersetzung	0.37	43,2	(Müller-Using & Bartsch)
LBH	3	fortgeschrittene Zersetz.	0.21	33,3	(Müller-Using & Bartsch)
LBH	4	stark vermodert	0.26	65,4	(Müller-Using & Bartsch)
EI	1	frisch abgestorben	0.58	12,1	(Müller-Using & Bartsch)
EI	2	beginnende Zersetzung	0.37	43,2	(Müller-Using & Bartsch)
EI	3	fortgeschrittene Zersetz.	0.21	33,3	(Müller-Using & Bartsch)
EI	4	stark vermodert	0.26	65,4	(Müller-Using & Bartsch)

Die jährliche Änderung des Kohlenstoffvorrates im Totholz wurde nach Gleichung 53 (Equ. 2.19, IPCC (2006b)) berechnet. Die EF für das Totholz auf verbleibenden Waldflächen sind in Tabelle 372 zusammengefasst.

Gleichung 53:

$$\Delta C_{FF_{DW}} = \frac{A * \left(B_{t_2} - B_{t_1}\right)}{T} CF$$

mit:

ΔC_{FFDW} = jährliche Änderung des Kohlenstoffes im Totholz auf verbleibenden Waldflächen

A = Fläche des verbleibenden Waldes

B_{t1} = Totholzvorrat zum Zeitpunkt t_1 (Beginn der Periode) für den verbleibenden Wald

B_{t2} = Totholzvorrat zum Zeitpunkt t_2 (Ende der Periode) für den verbleibenden Wald

$T=(t_2-t_1)$ = Zeitraum zwischen den beiden Schätzungen

CF = Kohlenstoffkonversionsfaktor (Standardwert = 0,5)

Tabelle 372: Totholzemissionsfaktoren für verbleibende Waldflächen

Periode	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2019
Totholz-EF [t C*ha]	0,037	0,097	-0,188	0,095

6.4.2.3.2 Neuwaldfläche

Die jährliche Änderung des Kohlenstoffvorrates im Totholz auf Neuwaldflächen wurde nach Equation 2.19 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) berechnet. Sie ist identisch mit der Gleichung für die Veränderung der Totholzvorräte für verbleibenden Wald (siehe Gleichung 53). Für die Bestimmung von Totholzvorräten für Neuwaldflächen standen die Daten der BWI 2002, BWI 2012 und CI 2017 zur Verfügung. Bei der Inventurstudie 2008 wurden keine Neuwaldflächen erhoben und bei der BWI 1987 wurde kein Totholz erfasst. Die EF für das Totholz auf Neuwaldflächen sind in Tabelle 373 zusammengefasst.

Tabelle 373: Totholzemissionsfaktoren für Neuwaldflächen

Periode	1990-2007	2008-2011	2012-2019
Totholz-EF [t C*ha]	-0,034	-0,229	-0,003

6.4.2.4 Streu (CRF-Table 4.A)

6.4.2.4.1 Verbleibende Waldfläche

Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die Streu erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, Equation 2.19, 2006 IPCC Guidelines).

Die Veränderungsrechnung der Kohlenstoffvorräte im Boden und Streu basiert auf den Daten der bundesweiten Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE I und BZE II, siehe Kapitel 6.4.2.1.2, und Grüneberg et al. (2014)). Im Zeitraum von 1990 (BZE I) bis 2006 (BZE II) war eine leichte Abnahme der Kohlenstoffvorräte in der Streu von -0.02 t C ha-1 a-1 zu verzeichnen (Grüneberg et al., 2014). Es wird angenommen, dass dieser Trend auch für den Zeitraum von 2007 bis 2020 gilt. Eine ausführliche Beschreibung zum methodischen Vorgehen zur Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu ist im Kapitel 6.4.2.4.4 zu finden.

Aktuell wird die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III) vorbereitet und ab 2022 die Feldaufnahmen durchgeführt. Mit den Ergebnissen der BZE III erfolgt dann eine Rückrechnung für den Zeitraum ab 2007.

6.4.2.4.2 Neuwaldflächen

Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderungen erfolgte nach dem Tier 2-Ansatz (Equation 2.23, 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006b)). Dieser Ansatz erfordert die Herleitung der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate. Diese wird berechnet aus den durchschnittlichen Streuvorräten im Wald unter Gleichgewichtsbedingungen und einer Übergangsperiode, die benötigt wird, bis sich die Streuvorräte bei Aufforstung aufgebaut haben.

Für die Berechnung der Streuauflage wurden die Zustandsdaten der BZE I und BZE II verwendet. Danach betragen die mittleren Kohlenstoffvorräte in der Streu für das Stichjahr 1990 der BZE I 19,0 t C ha^{-1} und für das Stichjahr 2006 der BZE II 18,8 t C ha^{-1}. Somit zeigte es sich, dass die mittleren Kohlenstoffvorräte in der Streu im Wald ihrerseits einem leichten Trend unterlagen. Die mittleren Vorräte werden diesem Trend angepasst. Sie werden für die Periode von 1991 bis 2005 durch Interpolation und ab 2007 durch Extrapolation berechnet und als Berechnungsgrundlage für Aufforstungsflächen herangezogen (siehe Tabelle 374). Die methodische Beschreibung für die Herleitung der Kohlenstoffvorräte in der Streu findet sich im Kapitel 6.4.2.4.3.

Tabelle 374: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für Streu der Landnutzungskategorien zu Neuwald

Jahr	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
IEF [t C ha-1]	0,4747	0,4732	0,4716	0,4698	0,4684	0,4669	0,4666	0,4662	0,4662	0,4662	0,4662

Für die Übergangsperiode wurde angenommen, dass sich erst nach 40 Jahren ein mittlerer Kohlenstoffvorrat in der Streu einstellt. Dieser Wert wird von Standardwerten für die Kohlenstoffspeicherung in der Bodenauflage sowie von Standardwerten für die Zeiträume bis zur Erreichung eines neuen Gleichgewichtes nach {PAUL et al. (2009)} und den 2003 IPCC Good Practice Guidance, Tabelle 3.2.1 (IPCC, 2003) belegt. In der IPCC-Tabelle 3.2.1 wird für Deutschland die warmgemäßigte Klimazone (feucht) angenommen und ein Mittelwert zwischen den Laub- und Nadelwaldwerten gebildet. Somit ergibt sich der jährliche Kohlenstoffaufbau in

der Streu durch den mittleren Kohlenstoffvorrat des jeweiligen Jahres geteilt durch die Anzahl der Jahre bis sich dieser einstellt.

Eine weitere Unterteilung der Aufforstungsflächen in die Klassen „natürliche Regeneration“ und „menschlich induziert“ wurde nicht vorgenommen (siehe Kapitel 11.4.1).

6.4.2.4.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte der Streu

Die Beprobung der Streu erfolgte an den Inventurpunkten anhand von Mischproben an Satelliten mit Stechrahmen unterschiedlicher Größe (Grüneberg et al., 2014). Als Streu entsprechend den 2006 IPCC Guidelines wurde die gesamte tote organische Auflage einschließlich den L-, Of- und Oh-Horizonten angesehen (IPCC, 2006b). Die Messung der organischen Kohlenstoffkonzentration der Streu erfolgte durch eine vergleichbare Methodik. Dabei gilt, dass der Gesamtkohlenstoff (C_{ges}) gleich dem organischen Kohlenstoff (C_{org}) ist ([C_{ges}]=[C_{org}]). Der Kohlenstoffvorrat der Streu errechnete sich aus der Fläche des Stechrahmens sowie aus dem Gewicht und der organischen Kohlenstoffkonzentration der Streu. Die Beschreibung der verwendeten Methoden bei der Beprobung und Analytik findet sich in Wellbrock et al. (2006) und König et al. (2005).

In die Berechnung der Kohlenstoffvorräte der Streu gingen alle für die BZE I und BZE II vorliegenden Punkte mit Angaben zum Waldtyp ein. Alle Werte kleiner oder größer der doppelten Standardabweichung ($x \pm 2\ \sigma$) wurden als Ausreißer aufgefasst und gelöscht. Aus den Werten der verbliebenen Datenpunkte für BZE I (n = 1629) und BZE (n = 1542) ließen sich die Kohlenstoffvorräte getrennt für Laub-, Nadel- und Mischwald angeben (siehe Tabelle 375). Die mittleren Kohlenstoffvorräte der beiden Inventuren wurden als gewichtetes Mittel aus den Kohlenstoffvorräten der drei Waldtypen berechnet. Die Gewichte wurden dabei aus den Flächenanteilen der Waldtypen an der Gesamtwaldfläche aus den CORINE Land Cover- Daten 1990 und 2006 und der regionalen Netzdichte ermittelt. Die mittleren Kohlenstoffvorräte der Stichproben betrugen für die BZE I 19,0 ± 0,3 t C ha^{-1} und für die BZE II 18,8 ± 0,3 t C ha^{-1} (Grüneberg et al., 2014). Diese Werte dienen als Grundlage für die Berechnung von CO_2-Emissionen aus der Streuauflage bei Entwaldung (siehe Kapitel 11.3.1.4) und Kohlenstoffsequestrierung in selbiger bei Aufforstungen (siehe Kapitel 6.4.2.4.2).

Tabelle 375: In den Inventuren BZE I und BZE II ermittelte Kohlenstoffvorräte in der Streu mit Angabe des Standardfehlers (Grüneberg et al., 2014)

Waldtyp	Kohlenstoffvorräte (BZE I) [t C ha^{-1}]	Kohlenstoffvorräte (BZE II) [t C ha^{-1}]
Laubwald	8,35 ± 0,37	6,78 ± 0,30
Mischwald	17,94 ± 0,63	14,99 ± 0,70
Nadelwald	23,75 ± 0,44	25,23 ± 0,49
Wald gesamt	**19,04 ± 0,30**	**18,83 ± 0,32**

6.4.2.4.4 Herleitung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu in dem Zeitraum von 1990 (BZE I) bis 2006 (BZE II)

Die bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte eingehenden Punkte wurden als ungepaarte Stichproben aufgefasst. Es wurde mit einem zweiseitigen T-Test für ungepaarte Stichproben getestet, ob sich die logarithmierten Kohlenstoffvorräte zu beiden Inventurzeitpunkten unterschieden. Jedem Punkt wurde dabei ein Gewicht zugeordnet, das sich aus dem Flächenanteil des jeweiligen Stratums und der regionalen Netzdichte zusammensetzte. Die

durchschnittliche Differenz betrug -0,02 ± 0,02 tC ha^{-1} a^{-1} (Grüneberg et al., 2014). Der Wert weicht nicht signifikant von Null ab.

Für die Neuwaldflächen wurde aus den Kohlenstoffvorräten der BZE I / BZE II und der durchschnittlichen Differenz jährlich abnehmende Faktoren für die Streuakkumulation berechnet (siehe Kapitel 6.4.2.4.2, Tabelle 374).

6.4.2.5 Mineralische Böden (CRF-Table 4.A)

6.4.2.5.1 Verbleibende Waldfläche

Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die mineralischen Böden erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz der 2006 IPCC Guidelines (Equ. 2.25, IPCC (2006b)).

Die Hochrechnung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen in den mineralischen Böden basiert auf der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE I und BZE II, siehe Kapitel 6.4.2.1.2) entsprechend Grüneberg et al. (2014). Mit den vorhandenen Daten wurde eine Veränderungsrechnung für die mineralischen Böden für beide Inventuren durchgeführt. Das methodische Vorgehen wird ausführlich in den folgenden Kapiteln 6.4.2.5.3 und 6.4.2.5.4 beschrieben. Die Hochrechnung ergab über das gesamte Bundesgebiet gemittelt eine jährliche Zunahme des Kohlenstoffvorrates im Mineralboden von 0,41 ± 0,11 t C ha^{-1}. Es wurde angenommen, dass dieser Trend auch für den Zeitraum 2007 bis 2020 anhält.

Aktuell wird die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III) vorbereitet und ab 2022 die Feldaufnahmen durchgeführt. Mit den Ergebnissen der BZE III erfolgt dann eine Rückrechnung für den Zeitraum ab 2007.

6.4.2.5.2 Neuwaldflächen

Auch für die Neuwaldflächen wird - wie bei verbleibendem Wald - die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die mineralischen Böden nach dem Tier 2-Ansatz durchgeführt (Equ. 2.25, IPCC (2006b)).

Für Neuwaldflächen wurden die Kohlenstoffänderungen in den mineralischen Böden entsprechend Kapitel 6.1.2.1 berechnet. Die berechneten mittleren Emissionsfaktoren (Implied Emission Factors) für das Jahr 2017 sind in Tabelle 336 im Kapitel 6.1.2.1.1 zusammengefasst und beziehen sich auf die jährliche Veränderung des Kohlenstoffvorrats der mineralischen Böden bei Landnutzungsänderung zu Neuwald bei einem Veränderungszeitraum von 20 Jahren.

6.4.2.5.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen

Die Herleitung der Kohlenstoffvorräte und deren Veränderungen erfolgte auf Grundlage von Inventurdaten der Bodenzustandserhebung (BZE)(siehe Kapitel 6.4.2.1.2 und Grüneberg et al. (2014)). Die Beprobung des Mineralbodens in der für den nationalen Inventurbericht relevanten Tiefe erfolgte an den meisten BZE-Punkten in Tiefenstufen von 0-5 cm, 5-10 cm und 10-30 cm. In wenigen Fällen wurde horizontweise beprobt.

Mit der Beprobung wurden die Trockenrohdichte des Feinbodens (TRD_{fb}), der Grobbodenanteil (GBA) und die Konzentration des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) nach vergleichbarer Methodik erfasst (König et al., 2005). Die Trockenrohdichte des Feinbodens wurde durch volumengerechte Beprobung tiefenstufenweise ermittelt, wobei teilweise am Bodenprofil ermittelte Schätzwerte genutzt wurden (Wolff and Riek (1997), Wellbrock et al. (2006)). Fehlende Angaben zur Trockenrohdichte wurden durch vorhandene Werte aus anderen Inventuren ersetzt. Dies galt ebenfalls für den zur Berechnung der TRD_{fb} und des Feinbodenvorrats notwendigen Grobbodenanteil.

In karbonathaltigen Böden erfolgte die Messung der organischen Kohlenstoffkonzentration (C_{org}) des Feinbodens unter Berücksichtigung des anorganischen Kohlenstoffgehalts (C_{anorg}) ([C_{org}] = [C_{ges}] – [C_{anorg}]). Bei nicht-karbonathaltigen Böden gilt [C_{org}] = [C_{ges}].

Die Gesamtkohlenstoffvorräte pro Probe wurden aus den Vorräten der einzelnen Tiefenstufen berechnet. Dazu mussten horizontweise erhobene Daten zunächst in Tiefenstufenabschnitte überführt werden, indem die Kohlenstoffvorräte einer Tiefenstufe gewichtet nach den Mächtigkeiten der sich überschneidenden Abschnitte und deren Kohlenstoffvorräten berechnet wurden.

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte und deren Veränderungen zwischen beiden Inventurzeitpunkten wurde mit der Bildung von Straten ein flächenbezogener Ansatz gewählt. Grundlage zur Bildung von flächenrelevanten Straten waren die 72 Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000). Darin sind Leitbodentypen und Ausgangsgesteine der Bodenbildung nach deutscher Bodensystematik (Arbeitsgruppe Boden, 1994) und FAO (International Soil Reference Information Centre, 1990) beschrieben. Da die einzelnen Klassen unterschiedlich stark mit Stichprobenpunkten besetzt waren, wurden die einzelnen Leitbodeneinheiten zu neuen Leitbodeneinheiten aggregiert, was die Grundgesamtheit je Klasse steigerte und die damit verbundene statistische Aussagekraft erhöhte. Die Klassenbildung orientierte sich sowohl nach vergleichbaren Bodentypen als auch nach Substrattyp bzw. Ausgangsgestein sowie nach Bodenart und Kalkgehalt. Insgesamt standen 16 Leitbodeneinheiten mit dem entsprechenden Ausgangsgestein für die flächenbezogene Auswertung zur Verfügung (siehe Tabelle 376). Die Zuordnung der Inventurpunkte zu den Leitbodeneinheiten erfolgte anhand der bei den Inventuren aufgenommenen Daten zum Ausgangsgestein und einer eventuellen Schichtung, zum Bodentyp und den Horizontabfolgen sowie zur Bodenart.

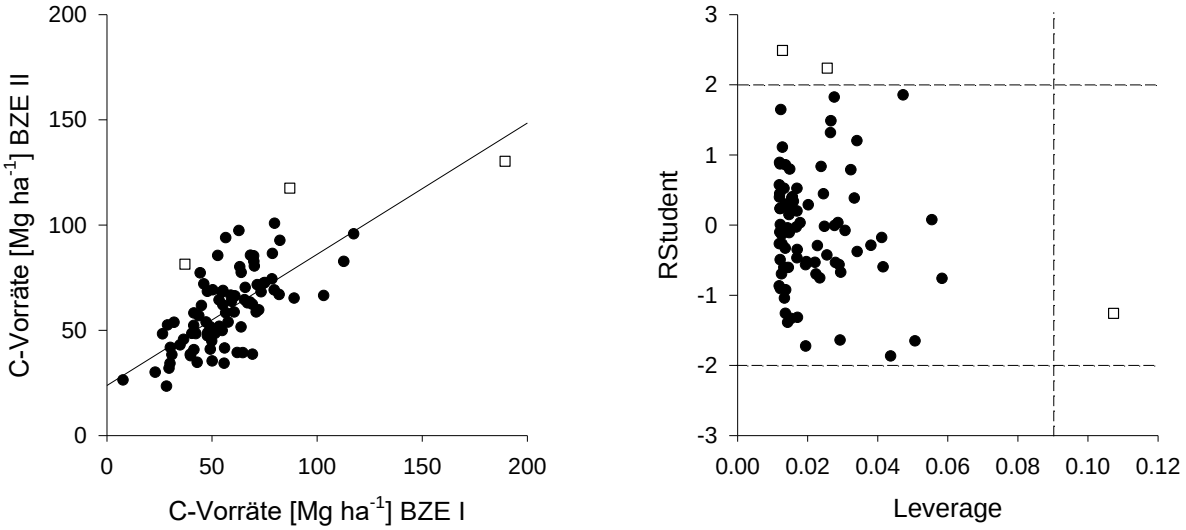
Tabelle 376: Zusammengefasste Legendeneinheiten auf Grundlage der BÜK 1000

Abk.	Leitbodeneinheiten nach Substrattyp, Bodenart und Kalkgehalt
1	Nährstoffarme Böden aus trockenen, nährstoffarmen Sanden
2	Verschiedene Böden aus sandigen bis lehmigen Terassen- oder Flussablagerungen
3	Verschiedene Böden aus teilweise kalkhaltigen, lehmig-tonigen Terassen- oder Flussablagerungen
4	Pseudovergleyte Böden aus sandig bis lehmigen Deckschichen über Geschiebelehm
5	Verschiedene Böden aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm
6	Braunerden aus nährstoffreichen Sanden
7	Böden der Lössgebiete
8	Verschiedene Böden aus Hangschutt über Kalk-, Mergel- und Dolomitgesteinen über Terra fusca aus schluffig-tonigen Umlagerungsprodukten der Kalksteinverwitterung
9	Braunerde und Terra fusca aus Umlagerungsprodukten der Kalk-, Mergel- und Dolomitstein-Verwitterung sowie Rendzina aus Kalkstein
10	Pelosol-Braunerde / Pelosol-Pseudogley aus Verwitterungsprodukten von Mergel- und Tongesteinen und kalkhaltigen Schottern
11	Braunerde aus basischen und intermediären magmatischen Gesteinen
12	Braunerden aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen
13	Braunerde / Podsole aus harten Ton- und Schluffschiefern mit Anteilen von Grauwacke, Sandstein, Schluffstein, Quarzit und Phyllit
14	Podsole / Braunerde aus basenarmen Quarziten, Sandsteinen und Konglomeraten
15	Verschiedene Böden in engräumigem Wechsel aus Grauwacken, Tonschiefer, Kalkstein, Sand-Schluff- und Tonsteinen sowie Lösslehm über verschiedenen Gesteinen
16	Hochgebirgsböden aus Kalk- und Dolomitgestein sowie aus Silikatgesteinen

Für die Auswertung lagen Kohlenstoffvorräte für 1.865 Punkte der BZE I und 1.813 Punkte der BZE II -Inventur vor Grüneberg et al. (2014). Mit Ausnahme von zwei Bundesländern, lagen die Daten hauptsächlich als gepaarte Stichprobe vor, d.h. einem BZE I-Punkt konnte genau ein BZE II-Punkt zugeordnet werden. Die Anzahl, der in die endgültige Berechnung eingehenden Punkte, war allerdings niedriger, da organische Böden ausgeschlossen wurden, Punkte keiner

Leitbodeneinheit zugeordnet werden konnten oder die Werte der Vorräte aufgrund der Ausreißeranalyse als unplausibel verworfen wurden. Für die Auswertung wurde die Gesamtstichprobe, nach Bundesländern unterteilt, in eine gepaarte und eine ungepaarte Unterstichprobe unterteilt. Bei der gepaarten Unterstichprobe konnten die Ausreißer mittels Residuen-Analyse identifiziert werden. Dazu wurden die Kohlenstoffvorräte für jede Leitbodeneinheit zu den unterschiedlichen Inventurzeitpunkten in einer linearen Regression gegeneinander aufgetragen. Ein Beispiel findet sich in Abbildung 66 links. Student-Residuen halfen, Ausreißer zu eliminieren, die nicht mit dem Rest der Daten konsistent erschienen (siehe Abbildung 66 rechts). Außerdem wurde eine "hat matrix" erzeugt, um "leverage"-Punkte[113] zu identifizieren, die Ausreißer innerhalb der unabhängigen Variable darstellen (siehe Abbildung 66 rechts) (Weisberg, 2005).

Abbildung 66: Regression zwischen Kohlenstoffvorräten (0-30cm) der BZE II und der BZE I (links) sowie die identifizierten Ausreißer anhand der Residuen-Analyse durch Student-Residuen und den "high leverage"-Punkten (rechts) am Beispiel einer Leitbodeneinheit



Da zwei Bundesländer das Raster zwischen BZE I und BZE II verschoben haben, stehen dort die Punkte, die einer Leitbodeneinheit zugeordnet werden konnten, als ungepaarte Stichprobe zur Verfügung. Hierfür erfolgt die Berechnung der Kohlenstoffvorräte durch Bildung gemittelter Werte je Leitbodeneinheit. Ausreißer wurden für jede Klasse mittels doppelter Standardabweichung ($x \pm 2\ \sigma$) detektiert und anschließend entfernt. Weiterhin wurden organische Böden ausgeschlossen. Danach wurden die mittleren Kohlenstoffvorräte je Leitbodeneinheit mit der Jahresdifferenz in Beziehung gesetzt. Nach Ausreißeranalyse blieben 1577 Punkte der BZE I und 1539 Punkte der BZE II-Inventur übrig. Davon lagen 1075 Punkte als gepaarte Stichprobe vor.

Um Kohlenstoffvorratsänderungen flächenbezogen berechnen zu können, wurden die Anteile der Waldflächen auf den Leitbodeneinheiten an der Gesamtwaldfläche Deutschlands ermittelt. Dazu wurden die CORINE Land Cover Daten mit der BÜK 1000 in einem Geografischen Informationssystem (GIS) verschnitten. Der mittleren Kohlenstoffänderung für jede Leitbodeneinheit konnte die entsprechende Waldfläche zugeordnet werden. Nun konnte die

[113] Leverage ist eine dimensionslose statistische Kenngröße, die angibt, wie stark ein Einzelwert die Regressionsstatistik beeinflusst

durchschnittliche jährliche Änderung des organischen Kohlenstoffs unter Berücksichtigung des Anteils der verwendeten Leitbodeneinheiten für Deutschland berechnet werden.

6.4.2.5.4 Ergebnisse der Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen

Die Kohlenstoffvorräte bis in eine Tiefe von 30 cm des Mineralbodens betrugen auf Grundlage des flächenbezogenen Ansatzes für Deutschland zum Inventurzeitpunkt der BZE I 55,6 ± 3,4 t C ha^{-1} und zum Inventurzeitpunkt BZE II 61,8 ± 3,7 t C ha^{-1}, was eine jährliche Zunahme von 0,41 ± 0,11 t C ha^{-1} bedeutet (Grüneberg et al., 2014). Eine Varianzanalyse (Typ III - ANOVA) zeigte, dass die Unterschiede zwischen den beiden Inventuren signifikant waren ($p<0.001$). Sowohl die Änderungsrate als auch die Gesamtvorräte liegen in einem Bereich, der für Mitteleuropa bereits von anderen Autoren abgeschätzt wurde. Die jährliche Kohlenstoffsequestrierung des durchwurzelten Bereichs wurde zwischen 0,1 t C ha^{-1} a^{-1} (Nabuurs & Schelhaas, 2002) und 0,9 t C ha^{-1} a^{-1} (Schulze et al., 2000) angegeben. Die meisten Literaturwerte basieren auf modellhaften Hochrechnungen und berücksichtigen den gesamten durchwurzelten Bereich des Bodens (Liski et al. (2002); De Vries et al. (2006)). Im Vergleich zu diesen Studien standen deutlich mehr Messdaten in einem engeren Punkteraster zur Verfügung, so dass die Daten eine validere Stichprobe bildeten, die verlässlichere und flächendeckende Aussagen für Deutschland ermöglicht.

Die Abschätzung der Kohlenstoffvorräte getrennt nach Klassen ergab für fast alle Leitbodeneinheiten höhere Kohlenstoffvorräte zum Zeitpunkt der BZE II im Vergleich zur BZE I (siehe Tabelle 377). Die Kohlenstoffvorräte waren in Böden mit hohem Tongehalt höher als in Böden mit hohem Sandgehalt. Gründe hierfür werden z.B. bei Six et al. (2002) und Baritz et al. (2010) diskutiert. Die Auswertung der Zeitreihe zwischen BZE I und BZE II zeigt größere jährliche Änderungen des Kohlenstoffvorrats insbesondere bei den sandigen Leitbodeneinheiten des Norddeutschen Tieflands. So lag die jährliche Änderungsrate der Leitbodeneinheiten 1, 5 und 6 über 0,6 t C ha^{-1} a^{-1} (Grüneberg et al., 2014). Prietzel et al. (2006) spricht hingegen von einer Kohlenstoffsequestrierung in den oberen 30 cm von 0,2 t C ha^{-1} a^{-1} auf sandigen Standorten und von 0,4 t C ha^{-1} a^{-1} auf lehmigen Standorten. Geringere positive Kohlenstoffänderungen zwischen 0,1 und 0,6 t C ha^{-1} a^{-1} fanden sich bei mehr als der Hälfte der gebildeten Klassen. Eine deutliche Abnahme der Kohlenstoffvorräte zwischen beiden Inventurzeitpunkten zeigte die Klasse 9.

Tabelle 377: Kohlenstoffvorräte zum Zeitpunkt der BZE I und BZE II in den neugebildeten Leitbodeneinheiten (Grüneberg et al., 2014)

	Kohlenstoffvorrat (BZE I) [t C ha^{-1}]			Kohlenstoffvorrat (BZE II) [t C ha^{-1}]		
LBE	n	MW	SE	n	MW	SE
1	201	52,8	1,6	187	65,5	6,8
2	56	60,5	2,6	62	65,0	4,9
3	20	67,3	3,2	25	68,1	2,4
4	105	66,4	1,8	87	64,1	4,5
5	77	33,4	1,6	75	52,8	2,2
6	34	24,6	1,6	34	43,7	1,8
7	126	55,8	1,5	109	63,0	2,2
8	110	76,3	2,4	106	79,1	0,8
9	36	77,1	4,9	43	68,3	1,0
10	55	56,7	2,1	63	60,8	0,8
11	39	51,3	3,2	39	54,6	0,9
12	187	59,5	1,7	163	62,5	2,2
13	222	54,7	1,4	233	60,1	4,1
14	245	50,5	1,2	257	55,3	3,2
15	30	51,8	2,9	30	49,0	0,9
16	34	84,4	6,2	26	104,5	0,5

(LBE = Leitbodeneinheiten, n = Anzahl Bodenproben, MW = Mittelwert, SE = Standardfehler)

6.4.2.6 Organische Böden (CRF-Table 4.A)

In diesem Kapitel wird einzig auf die CO_2-Emissionen aus organischen Böden eingegangen. Diese werden in der CRF-Tabelle 4.A unter organische Böden eingetragen. Für die Treibhausgase N_2O und CH_4 wird das methodische Vorgehen im Kapitel 6.1.2.2 beschrieben. Diese Emissionen werden in die CRF-Tabelle 4(II) berichtet.

6.4.2.6.1 Verbleibende Waldfläche

Die Ermittlung der Flächen der organischen Böden erfolgte georeferenziert durch Verschneidung der "Karte organischer Böden" und der ATKIS®-Daten. Dabei wird zwischen drainierten und nicht drainierten organischen Böden unterschieden. Für die verbleibende Waldfläche beträgt die Fläche organischer Böden für das Jahr 2020 256.804 ha. Eine detaillierte Beschreibung zur Herleitung der organischen Bodenflächen und zum drainierten Anteil findet sich im Kapitel 6.1.2.2.1.

Die methodische Beschreibung zur Herleitung des Emissionsfaktors befindet sich in dem Kapitel 6.1.2.2.2, und für den impliziten Emissionsfaktor (IEF) im Kapitel 6.1.2.2. Für organische Waldböden sind die impliziten Emissionsfaktoren in Tabelle 378 zusammengefasst.

Tabelle 378: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für organische Böden

Jahr	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
IEF [t CO_2 ha^{-1}]	9,7384	9,7287	9,6992	9,7120	9,7615	9,7588	9,7587	9,7588	9,7555	9,7469	9,7378

6.4.2.6.2 Neuwaldflächen

Für die Neuwaldfläche beträgt die Fläche organischer Böden für das Jahr 2020 21.191 ha (siehe Kapitel 6.1.2.2.1). Für organische Böden unter Neuwald werden ebenfalls die in Tabelle 378 zusammengefassten Emissionsfaktoren verwendet. Diese jährlichen Emissionen werden für alle Jahre seit der Umwandlung berichtet. Im Kapitel 6.1.2.2 wird die Herleitung der Treibhausgasemissionen aus organischen Böden für alle Landnutzungskategorien beschrieben.

6.4.2.7 Sonstige Treibhausgasemissionen aus Wäldern

6.4.2.7.1 Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(I))

Stickstoffdüngung von Wäldern findet in Deutschland nicht statt. In der CRF-Tabelle 4(I) wurde diese Aktivität daher als nicht vorkommend „NO“ (not occurring) bezeichnet (siehe auch Kapitel 6.1.2.5).

6.4.2.7.2 Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(II))

Die Herleitung der Treibhausgasemissionen aus organischen und mineralischen Böden durch Entwässerung und Wiedervernässung wird für alle Landnutzungskategorien im Kapitel 6.1.2.6 beschrieben. Die CO_2-Emissionen für Wälder werden in die CRF-Tabelle 4.A eingetragen und in der CRF-Tabelle 4(II) als IE (included elsewhere) gekennzeichnet (siehe auch Kapitel 6.4.2.6). Die CH_4- und N_2O-Emissionen hingegen sind in der CRF-Tabelle 4(II) zu finden. Für organische Waldböden sind die Implizite Emissionsfaktoren in Tabelle 379 zusammengefasst.

Wiedervernässung auf mineralischen Böden im Wald gibt es nicht und wird in der CRF-Tabelle 4(II) mit NO (not occurring) gekennzeichnet.

Tabelle 379: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Methan und Stickstoff) für organische Böden

Jahr	Methan [kg CH_4 ha-1]	Stickstoff [kg N_2O ha-1]
1990	4,9102	4,3285
1995	4,9135	4,3285
2000	4,9121	4,3286
2005	4,9271	4,3297
2010	4,9227	4,3308
2011	4,9210	4,3314
2012	4,9243	4,3317
2013	4,9217	4,3315
2014	4,9200	4,3307
2015	4,9183	4,3285
2016	4,9191	4,3295
2017	4,9132	4,3301
2018	4,9123	4,3304
2019	4,9073	4,3305
2020	4,9117	4,3299

6.4.2.7.3 Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(III))

Die Ermittlung der direkten N_2O-Emissionen durch Mineralisierung und Immobilisierung von mineralischen Böden wird im Kapitel 6.1.2.7 beschrieben. Die N_2O-Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(III) zu finden.

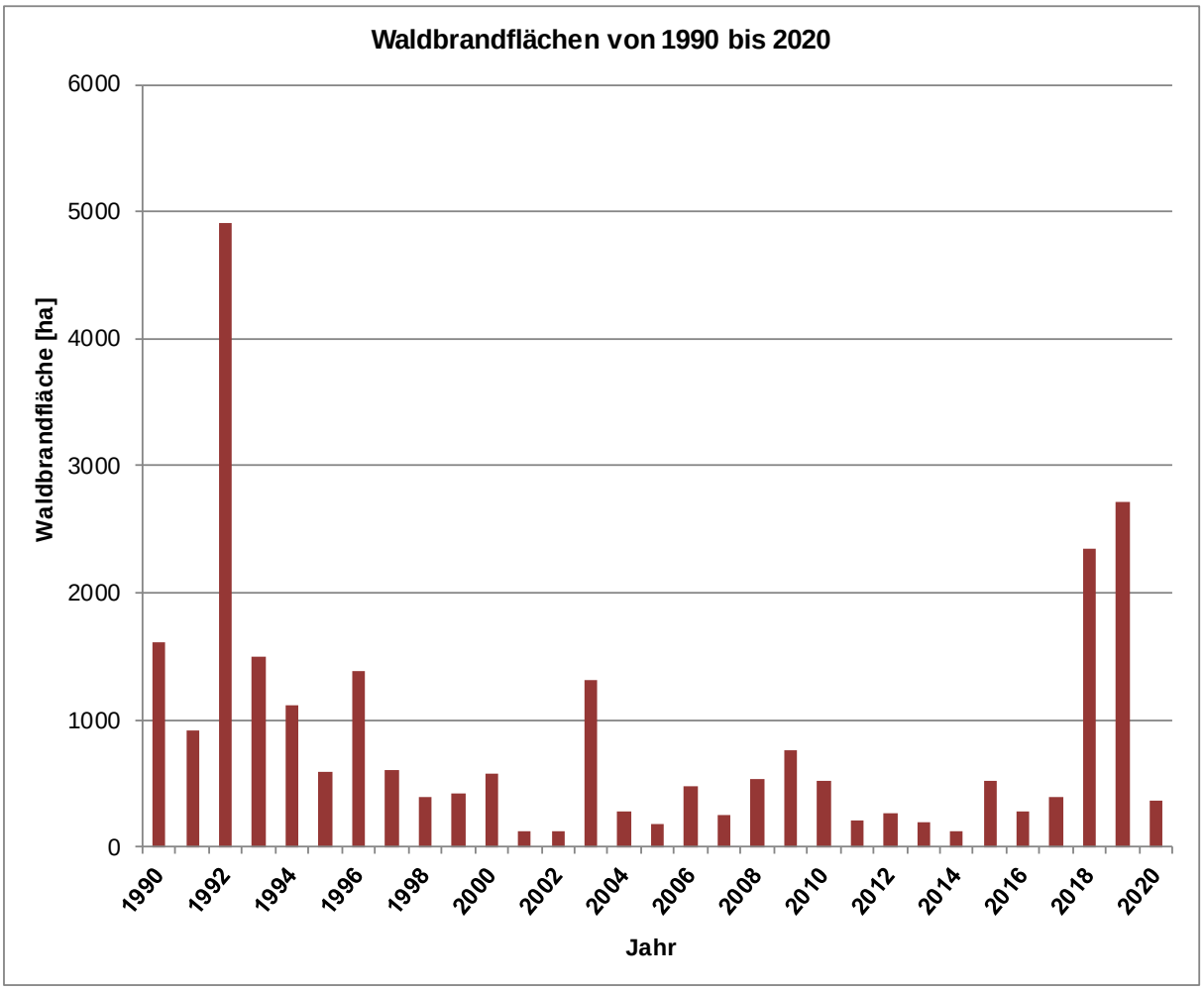
6.4.2.7.4 Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(IV))

Die Ermittlung der indirekten N_2O-Emissionen durch Verluste an organischer Bodensubstanz infolge von Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen wird zusammenfassend für alle Landnutzungskategorien im Kapitel 6.1.2.8 beschrieben. Die N_2O-Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(IV) zu finden.

6.4.2.7.5 Waldbrand (CRF-Table 4(V))

Während in anderen Ländern Feuer in Form von „kontrollierten Bränden“ (prescribed burning) als Methode zur Flächenberäumung dienen oder Bestandteil der Bewirtschaftung von Ökosystemen sind, findet in Deutschland im bewirtschafteten Wald keine kontrollierte Verbrennung von Biomasse statt. In der CRF-Tabelle 4 (V) wird deshalb für "Controlled Burning" NO geführt. Aufgrund der klimatischen Lage Deutschlands und der Maßnahmen zur Vorbeugung von Waldbränden sind Waldbrände ein eher seltenes Ereignis, was durch die in der Walbrandstatistik (BLE (2020)) erfassten Waldbrandflächen bestätig wird (siehe Abbildung 67). Für den Zeitraum 1990-2020 lag die mittlere Waldbrandfläche bei 839 ha. In manchen Jahren führten sehr hohe Temperaturen in den Sommermonaten zu höheren Waldbrandflächen, wie z. B. 1996, 2003, 2018 und 2019. Eine überdurchschnittlich hohe Waldbrandfläche von rund 4.908 ha wurde im Jahr 1992 ermittelt, das durch einen extrem warmen Sommer geprägt war.

Abbildung 67: Waldbrandflächen zwischen 1990 und 2020 (nach BLE, 2021)



Bei Waldbränden („wild fires“) werden neben CO_2 auch sonstige Treibhausgase (CO, CH_4, N_2O, NO_x und NMVOC) freigesetzt. Die aus der Verbrennung von Biomasse resultierenden CO_2-Emissionen werden bereits bei der Änderung der Biomassevorräte (CRF Sector 4.A.1 Forest land remaining forest land) mittels der „Stock-Difference-Method“ berücksichtigt und deshalb als „IE“ (included elsewhere) angegeben. Die Emissionen sonstiger Treibhausgase wurden nach Gleichung 54 (Equ. 2.27, IPCC (2006b)) berechnet.

Gleichung 54:

$$L_{fire} = A*B*C*D*10^{-6}$$

L_{fire} = Menge des durch Feuer freigesetzten Treibhausgases [t]

A = Waldbrandfläche [ha]

B = Masse des vorhandenen Brennmaterials (Biomasse) [kgTM ha^{-1}]

C = Verbrennungseffizienz

D = Emissionsfaktor [$g(kgTM)^{-1}$]

Für die Berechnung der NMVOC-Emissionen kam die Gleichung nach EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016 (EMEP, 2019) zur Anwendung

Gleichung 55:

$$M(C) = 0{,}45 * A * B * \alpha * \beta$$

0.45 = Durchschnittlicher Kohlenstoffanteil in Brennholz (average fraction of carbon in fuel wood);

A = *Verbrannte Fläche (area burnt) [m^2];*

B = *Durchschnittliche zur Verfügung stehende Gesamtbiomasse pro Flächeneinheit (average total biomass of fuel material per unit area) [kg m^{-2}];*

α = *Anteil der durchschnittlichen oberirdischen Biomasse, relativ zu B (fraction of average above-ground biomass, relative to the total average biomass B);*

β = *Anteil tatsächlich verbrannter Biomasse (burning efficiency (fraction burnt) of the above-ground biomass).*

Die Waldbrandflächen für die Jahre 1990 bis 2020 wurden aus der bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geführten Waldbrandstatistik (BLE 2021) entnommen. Bei der Erhebung der Flächen wird nicht zwischen Neuwaldflächen und verbleibender Wald unterschieden. Aus diesem Grund werden die Emissionen aus Neuwaldflächen in der Sektion „verbleibender Wald“ berichtet und in den CRF-Tabellen 4(V) mit „IE“ gekennzeichnet. Für die Biomassebestimmung stehen die Daten für 1990 aus der BWI 1987 und DSWF, für 2002 aus der BWI 2002, für 2008 aus der IS08, für 2012 aus der BWI 2012 und für 2017 aus der CI 2017 zur Verfügung. Die durchschnittliche oberirdische Biomasse wurde für jedes Jahr durch lineare Interpolation zwischen 1990, 2002, 2008, 2012 und 2017 und Extrapolation für die Jahre ab 2018 hergeleitet. Basierend auf der Expertenschätzung von König (2007) sind 80 % der Waldbrände in Deutschland Bodenfeuer und 20 % Vollfeuer. Nach Tabelle 2.6 (IPCC, 2006b) wurde eine Verbrennungseffizienz (Massenverlust durch direkte Verbrennung) von 0,15 für Bodenfeuer und 0,45 für Vollfeuer angewandt. Die Emissionsfaktoren für CH_4, N_2O, CO und NO_X wurden aus Tabelle 2.5 (IPCC, 2006b) entnommen. Für NMVOC kommt der Emissionsfaktor aus dem EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2016.

Die Waldbrandflächen in Deutschland und damit auch die dabei entstehenden CH_4-, N_2O-, CO-, NO_X und NMVOC-Gasmengen sind gering. Die vollständige Zeitreihe für die aus Waldbränden resultierenden Treibhausgase ist in Tabelle 380 zu finden.

Tabelle 380: Durch Waldbrände emittierte Treibhausgase

Jahr	Oberirdische Biomasse [t ha^{-1}]	Waldbrandfläche [ha]	Emittierte Gase [t]				
			CH_4	N_2O	CO	NO_X	NMVOC
1990	170,9	1.606	270,8	15,0	6.165	172,9	544,5
1991	171,0	920	155,3	8,6	3.535	99,1	312,2
1992	171,2	4.908	829,3	45,9	18.879	529,3	1.667,4
1993	171,4	1.493	252,5	14,0	5.749	161,2	507,7
1994	171,5	1.114	188,6	10,4	4.294	120,4	379,2

Jahr	Oberirdische Biomasse [t ha^{-1}]	Waldbrandfläche [ha]	Emittierte Gase [t]				
			CH_4	N_2O	CO	NO_X	NMVOC
1995	171,7	592	100,3	5,6	2.284	64,0	201,7
1996	171,9	1.381	234,3	13,0	5.333	149,5	471,0
1997	172,0	599	101,7	5,6	2.316	64,9	204,5
1998	172,2	397	67,5	3,7	1.536	43,1	135,7
1999	172,4	415	70,6	3,9	1.608	45,1	142,0
2000	172,6	581	99,0	5,5	2.253	63,2	199,0
2001	172,7	122	20,8	1,2	474	13,3	41,8
2002	172,9	122	20,8	1,2	474	13,3	41,9
2003	173,6	1.315	225,4	12,5	5.131	143,9	453,1
2004	174,4	274	47,2	2,6	1.075	30,1	94,9
2005	175,1	183	31,7	1,8	722	20,2	63,7
2006	175,8	482	83,7	4,6	1.905	53,4	168,2
2007	176,6	256	44,5	2,5	1.014	28,4	89,6
2008	177,3	539	94,2	5,2	2.145	60,1	189,5
2009	179,3	757	133,9	7,4	3.049	85,5	269,3
2010	181,2	522	93,4	5,2	2.125	59,6	187,7
2011	183,2	214	38,7	2,1	881	24,7	77,8
2012	185,2	269	49,1	2,7	1.118	31,3	98,7
2013	187,2	199	36,7	2,0	836	23,4	73,8
2014	189,1	120	22,4	1,2	510	14,3	45,0
2015	191,1	526	99,1	5,5	2.257	63,3	199,3
2016	193,1	283	53,9	3,0	1.228	34,4	108,4
2017	194,4	395	75,7	4,2	1.724	48,3	152,3
2018	196,2	2.349	454,9	25,2	10.357	290,4	914,7
2019	198,1	2.711	530,0	29,3	12.067	338,3	1.065,7
2020	199,9	368	72,5	4,0	1652	46,3	145,9

6.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.A)

Bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte müssen verschiedene Unsicherheiten berücksichtigt werden. Zur Abschätzung der Unsicherheiten werden pragmatische Ansätze herangezogen, die lediglich eine Annäherung an die tatsächlichen Unsicherheiten ermöglichen.

Die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Unsicherheiten fließen in ein Gesamtfehlerbudget für den LULUCF-Sektor ein, welches im Kapitel 6.1.2.1 zu finden ist.

Hinsichtlich der Unsicherheiten des Kohlenstoff-Konversionsfaktors wird an dieser Stelle auf Kapitel 6.4.2.2.6 verwiesen.

Fehlerschätzungen (U) für Zielgrößen (1, ..., i, ..., I) pflanzen sich bei deren Aggregation auf zwei unterschiedliche Arten fort. Werden zwei Zielgrößen addiert oder subtrahiert, erfolgt die Fehlerweitergabe additiv (siehe Gleichung 56):

Gleichung 56:

$$U = \frac{\sqrt{\sum_i (U_i x_i)^2}}{\sum_i x_i}$$

U = Gesamtunsicherheit

U_i = Unsicherheit für Zielgröße

x_i = Quantität der Zielgröße

Werden dagegen zwei Zielgrößen multipliziert bzw. dividiert, pflanzen sich die Fehler beider Größen multiplikativ fort (siehe Gleichung 57)

Gleichung 57:

$$U = \sqrt{\sum_i (U_i)^2}$$

U = Gesamtunsicherheit

U_i = Unsicherheit für Zielgröße

6.4.3.1 Unsicherheiten bei der Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen

Aufgrund der stichprobenbasierten Landnutzungsänderungserfassung konnten die Stichprobenfehler für jede LULUCF-Kategorie berechnet werden. Der Stichprobenfehler wird nach den Formeln im Kapitel 6.4.3 berechnet. Alle anderen Fehlerquellen lassen sich nach Abschluss der Validierung ausschließen (siehe auch Kapitel 6.3.3). Alle Flächen sind signifikant erfasst.

6.4.3.2 Unsicherheiten bei der Schätzung der Emissionsfaktoren von lebender und toter Biomasse

Die Ableitung der Biomassen und der Kohlenstoffvorräte im Wald bzw. deren Veränderungen unterliegen einer Reihe von Fehlerquellen, da sich die Biomasse nicht direkt messen lässt. In den Kapiteln 6.4.2.2.4, 6.4.2.2.5 und 6.4.2.2.6 sind die Fehler der Biomassefunktionen und des Kohlenstoffkonversionsfaktors aufgeführt und diskutiert. Für das Totholz sind die Fehler der Biomassekonversionsfaktoren nach Baumarten und Zersetzungsgrad im Kapitel 6.4.2.3 aufgeführt.

Die spezifischen Fehler der Baumartengruppen werden zu den Unsicherheiten der ober- und unterirdischen Biomasse addiert und anschließend zu einer Fehlerangabe für die Gesamtbiomasse aggregiert. Durch die Subtraktion des Biomassevorrates des ersten Zeitpunktes vom Biomassevorrat des zweiten Zeitpunktes ergibt sich die Unsicherheit für die Biomasseveränderung durch Addition. Der Fehler für die Gesamtbiomasseveränderung wird mit dem Fehler des Kohlenstoffkonversionsfaktors und dem Stichprobenfehler multipliziert. Der Stichprobenfehler leitet sich aus der Varianz der Stichprobe her.

In den folgenden Tabellen sind die Unsicherheiten für die einzelnen Fehlerquellen als auch für den resultierenden Emissionsfaktor aufgeführt.

Tabelle 381: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden

FM 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)						Fehler % (C)	SE %	RMSE%
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weich-holz$_{Laub}$	Alle			
Biomasse$_{oberirdisch}$	7,96	11,06	13,39	8,62	36,07	7,04	2,00	6,47	9,77
Biomasse$_{unterirdisch}$	24,52	18,63	34,86	35,60	17,41	13,53	2,00	6,24	15,03
Emissionsfaktor						6,67	2,00	5,68	8,76
FM 1993 – 2002	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Neue Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weich-holz$_{Laub}$	Alle			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,34	24,66	17,35	12,93	37,15	9,03	2,00	5,43	10,73
Biomasse$_{unterirdisch}$	30,38	27,74	38,90	43,94	22,49	16,82	2,00	5,93	17,97
Emissionsfaktor						8,16	2,00	5,51	10,05
FM 2002 – 2008	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weich-holz$_{Laub}$	Alle			
Biomasse$_{oberirdisch}$	7,95	11,05	13,30	8,57	35,39	13,69	2,00	23,30	27,10
Biomasse$_{unterirdisch}$	24,47	18,60	34,67	35,39	17,15	18,28	2,00	13,50	22,82
Emissionsfaktor						11,71	2,00	18,83	22,17

FM 2008 – 2012	Fehler % (Biomasse Umwandlung)						Fehler % (C)	SE %	RMSE%
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weich-holz$_{Laub}$	Alle			
Biomasse$_{oberirdisch}$	7,95	11,04	13,30	8,57	35,39	6,19	2,00	8,36	10,59
Biomasse$_{unterirdisch}$	24,47	18,60	34,65	35,38	17,15	12,64	2,00	8,93	15,60
Emissionsfaktor						5,99	2,00	7,40	9,52
FM 2012 – 2017	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	7,94	11,05	13,30	8,56	35,39	6,73	2,00	7,62	10,36
Biomasse$_{unterirdisch}$	24,47	18,61	34,67	35,38	17,15	12,33	2,00	6,31	14,00
Emissionsfaktor						6,33	2,00	6,54	9,10

Tabelle 382: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Aufforstungsflächen für unterschiedliche Perioden

AR 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)						Fehler % (C)	SE %	RMSE%
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weich-holz$_{Laub}$	Alle			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	18,63	2,00	19,37	26,95
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	17,31	2,00	18,92	25,72
Emissionsfaktor						15,99	2,00	-16,52	22,99
AR 2002 – 2008	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	26,79	2,00	48,70	55,62
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	18,68	2,00	44,38	48,20
Emissionsfaktor						21,86	2,00	-39,98	45,57
AR 2008 – 2012	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	20,13	2,00	18,05	27,11
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	17,82	2,00	20,10	26,94
Emissionsfaktor						17,48	2,00	-15,67	23,48
AR 2012 – 2017	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	17,88	2,00	38,43	42,43
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	16,30	2,00	37,11	40,58
Emissionsfaktor						15,24	2,00	-32,55	35,95

Tabelle 383: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Entwaldungsflächen für unterschiedliche Perioden

DF 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)						Fehler % (C)	SE %	RMSE%
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weich-holz$_{Laub}$	Alle			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	9,41		17,45	19,93
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	16,90		19,68	26,02
Emissionsfaktor						8,63	2,00	15,13	17,42
DF 2002 – 2008	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	9,13	2,00	23,98	25,73
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	16,59	2,00	23,32	28,69
Emissionsfaktor						8,47	2,00	21,06	22,70
DF 2008 – 2012	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**

DF 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)						Fehler % (C)	SE %	RMSE%
Alte Bundesländer	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	12,58	2,00	22,66	26,00
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	24,07	2,00	20,98	31,99
Emissionsfaktor						11,63	2,00	20,17	23,29
DF 2012 – 2017	**Fehler % (Biomasse Umwandlung)**						**Fehler % (C)**	**SE %**	**RMSE%**
Deutschland	**Fichte**	**Kiefer**	**Buche**	**Eiche**	**Weich-holz$_{Laub}$**	**Alle**			
Biomasse$_{oberirdisch}$	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	10,06	2,00	28,69	30,47
Biomasse$_{unterirdisch}$	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	19,01	2,00	27,57	33,55
Emissionsfaktor						9,37	2,00	25,52	27,18

Tabelle 384: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz für unterschiedliche Perioden

	Fehler % (Biomasse Umwandlung)												Fehler % (C)	SE %	RMSE %
Deutschland	EI1	EI2	EI3	EI4	L1	L2	L3	L4	N1	N2	N3	N4	Alle		
FM 2008 – 2012	8,59	30,60	24,09	47,41	8,63	30,58	23,76	47,01	12,95	19,81	25,08	17,85	8,59	2,00	26,37	27,80
FM 2012 – 2017	8,91	30,73	23,82	52,92	8,89	30,83	23,61	46,96	12,37	19,75	25,08	18,00	10,03	2,00	22,56	24,77
AF 2008 – 2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	65,38	17,20	27,92	35,46	25,20	18,81	2,00	41,38	45,50
AF 2012 – 2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,38	0,00	0,00	0,00	0,00	65,38	2,00	98,02	117,84
DF 2008 – 2012	0,00	0,00	0,00	0,00	12,07	43,24	33,33	65,38	0,00	27,92	35,46	25,20	19,82	2,00	46,73	50,80
DF 2012 – 2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,24	33,33	65,38	17,20	27,92	35,46	25,20	16,58	2,00	49,56	52,30

mit N = Nadelholz, L = Laubholz ohne Eiche, EI = Eiche und 1-4 = Zersetzungsgrad

6.4.3.3 Unsicherheiten bei der Schätzung der Streu und der mineralischen Böden

6.4.3.3.1 Probenahmefehler

Ein Problem der Beprobung von Böden ist die korrekte Trennung der Streu vom Mineralboden, da der Übergang zwischen beiden Kompartimenten nicht immer eindeutig identifizierbar ist. Dies ist umso problematischer, da die Kohlenstoffkonzentration der Streu sich deutlich gegenüber dem darunter liegenden Mineralboden unterscheidet. Eine unsaubere oder unsachgemäße Abtrennung der Streu vom Mineralboden kann daher große Auswirkungen auf die Kohlenstoffvorräte des jeweiligen Horizontes bzw. der jeweiligen Tiefenstufe haben.

6.4.3.3.2 Kleinräumige Variabilität

Die Beprobung von Kohlenstoffvorräten unterliegt aufgrund der hohen räumlichen Variabilität in der Streu oder im Mineralboden einer großen Unsicherheit, da Kohlenstoffvorräte nur über kurze Distanzen eine räumliche Kontinuität aufweisen. Schöning et al. (2006) berechneten für die Streu eines Buchenwaldes einen Vorrat von 4,0 t C ha^{-1} mit einem Variationskoeffizienten von 38 %. Im Mineralboden (0-36 cm) fanden sie Kohlenstoffvorräte von 64,0 t C ha^{-1} mit Variationskoeffizienten zwischen 30 % und 43 %. Ähnliche Werte sind auch von Liski (1995) dokumentiert. Er zeigte, dass Kohlenstoffvorräte unter einem Fichtenstandort innerhalb eines bestimmten Horizontes ab 8 m räumlich unabhängig voneinander waren.

6.4.3.3.3 Repräsentanz von Punkten innerhalb der Straten

Ein Problem bei der Auswertung nach den Leitbodeneinheiten ergab sich aus der unterschiedlichen Besetzung der Klassen. Kleinen Klassen fehlt die statistische Validität gegenüber einer großen Grundgesamtheit. Wenn aufgrund fehlender Daten kein Vergleich zwischen BZE I und BZE II möglich war, konnte die vom Wald bedeckte Fläche der Leitbodeneinheiten ebenfalls nicht in die Berechnung einfließen. Weiterhin war es nicht möglich, alle Leitbodeneinheiten zu besetzen, da einige nur auf kleinere Flächen im Bundesgebiet beschränkt sind. Insgesamt betrifft dies eine nicht berücksichtigte Waldfläche von 4,3 %.

6.4.3.3.4 Stichprobenfehler

Bei der Berechnung der Stichprobenfehler der Vorratsänderung für Streu und Mineralböden wurde zwischen gepaarten und ungepaarten Stichproben unterschieden und eine Stratifizierung für Mineralböden berücksichtigt.

Die Vorratsänderung für die Streu wurde stratifiziert als ungepaarte Stichprobe berechnet. Es ergab sich dabei ein Stichprobenfehler von 0,02 t C ha^{-1} a^{-1} oder 100%.

Bei der Berechnung der Vorratsänderung für Mineralböden wurde die Stichprobe in eine gepaarte und eine ungepaarte Stichprobe unterteilt. Weiterhin wurde nach Leitbodeneinheiten und den beiden Teilstichproben stratifiziert. Insgesamt betrug der Stichprobenfehler für Mineralböden 0,037 t C ha^{-1} a^{-1} oder 9 %.

6.4.3.3.5 Quantifizierung von methodisch bedingten Unsicherheiten

Als weitere Unsicherheit kommen zur Stichprobenvarianz messtechnisch bedingte Abweichungen bei der Einzelmessung hinzu. Sowohl die Kohlenstoffkonzentration als auch der Vorrat im Feinboden würden bei mehreren, an einem Standort unabhängig voneinander genommenen Proben in einem durch die Genauigkeit der Messtechnik bestimmten Bereich schwanken. Um diese Schwankungsbreite bei der Messung der Kohlenstoffkonzentration zu quantifizieren, wurden die Ergebnisse aus den Ringanalysen herangezogen (Blum & Heinbach, 2006, 2007). Bei den Ringanalysen zur BZE II wurden die Wiederholstandardabweichung als mittlere laborinterne Standardabweichung (DIN ISO 5725 2) mehrerer Kohlenstoffmessungen

und die Sollstandardabweichung als Standardabweichung der Mittelwerte bestimmt. Daraus wurde die Vergleichsstandardabweichung berechnet. Diese eignet sich als Schätzwert für die Messunsicherheit. Die Vergleichsstandardabweichung der Mineralbodenmessungen betrug bei kalkfreien Böden 0,9 g kg^{-1} und bei kalkhaltigen Böden 2,9 g kg^{-1}, sowie bei der organischen Auflage 20,2 g kg^{-1}. Für die BZE I wurde auf Werte von Wolff and Riek (1997) zurückgegriffen, die Variationskoeffizienten für die Kohlenstoffbestimmung in Mineralböden zwischen 5 und 20 % sowie für die Kohlenstoffbestimmung in der organischen Auflage zwischen 5 und 10 % angeben. Davon wurde jeweils der Mittelwert eingesetzt. Bei der Berechnung der Unsicherheiten des Vorrats im Feinboden konnte nicht auf Ergebnisse von Ringversuchen zurückgegriffen werden. Daher wurden alle BZE-Punkte ausgewählt bei denen zu beiden Inventurzeitpunkten Ergebnisse für die Feinbodenbestimmung vorlagen. Es wurde die mittlere Abweichung der beiden Messungen voneinander berechnet. Die mittlere Abweichung lag bei 193 ± 35 t ha^{-1}. Im Sinne einer konservativen Fehlerabschätzung wurde die Annahme getroffen, dass sich die Feinbodenvorräte zwischen den beiden Inventuren nicht ändern und dass die mittlere Abweichung plus ihre Streuung ein Maß für die Messunsicherheit des Feinbodenvorrats darstellt. Die Unsicherheit der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate wurde um die Messunsicherheiten der Einzelmessung erweitert.

Die Unsicherheiten bei der Abschätzung der jährlichen Änderungsrate in Mineralböden betrugen für die Stichprobenvarianz 0,037 t C ha^{-1} a^{-1}, für die Laboranalytik der C-Bestimmung zum Zeitpunkt der BZE I 0,058 t C ha^{-1} a^{-1}, zum Zeitpunkt der BZE II 0,056 t C ha^{-1} a^{-1} und für die Bestimmung des Feinbodenvorrates 0,05 t C ha^{-1} a^{-1}. Damit ergab sich eine Gesamtunsicherheit von 0,11 t C ha^{-1} a^{-1}. Die Gesamtunsicherheit bei der Abschätzung der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate der organischen Auflage betrug 0,035 t C ha^{-1} a^{-1}.

6.4.3.4 Zeitreihenkonsistenz

An die Zeitreihenkonsistenz werden folgende Bedingungen geknüpft:

- die Berechnung der Emission erfolgt über die gesamte Zeitreihe mit der gleichen Methode und denselben bzw. untereinander konsistenten Datenquellen;
- ergeben sich Änderungen an der Methode, sollte eine Neuberechnung mit der neuen Methode über die gesamte Zeitreihe erfolgen;
- neue Daten, z.B. aus Wiederholungsinventuren, sind konsistent mit früheren Daten.
- stehen neue Daten zur Verfügung, die zu einer Verbesserung des Inventars führen, sollte eine Rekalkulation über die gesamte Zeitreihe erfolgen;
- werden Fehler in den Schätzungen identifiziert müssen diese korrigiert und die gesamte Zeitreihe neu berechnet werden.
- Diese Bedingungen wurden konsequent auf alle Zeitreihen der Submission angewendet. Wenn in einigen Zeitreihen in zwei aufeinanderfolgenden Jahren größerer Unterschiede bei den Werten auftreten, liegt dies an der Periodizität der verfügbaren Daten in einer konsistenten Zeitreihe. Denn auch für diese Zeitreihen wurden für alle Jahre dieselbe Methode und dieselbe Datenquelle zugrunde gelegt.

6.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.A)

Die durchgeführten QK/QS-Maßnahmen für den gesamten LULUCF -Sektor finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE – Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik, Waldbrandstatistik, siehe Kapitel 6.4.2.1) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in der Inventarbeschreibung).

Es wurde eine vollständige Fehlerbetrachtung für den Sektor LULUCF durchgeführt, wobei versucht wurde, alle vorhandenen Fehlerquellen zu quantifizieren. Darin enthalten sind Fehlerrechnungen aus dem Forstbereich für Biomasse, Totholz, Streu, mineralische Böden, organische Böden und Waldbrand der Treibhausgase CO_2, N_2O und CH_4. Zusammenfassend wurde im Kapitel 6.1.2.1 ein Gesamtfehlerbudget erstellt.

6.4.4.1 Biomasse und Totholz

Die Schätzungen der Kohlenstoffvorräte und der Kohlenstoffvorratsänderungen in den Pools Biomasse und Totholz zu den jeweiligen Zeitpunkten beruhen auf Hochrechnungen am Thünen Institut für Waldökosysteme (TI-WO), die auf die Daten der Bundeswaldinventuren und der Inventurstudie 2008 bzw. Kohlenstoffinventur 2017 zugreifen. Dabei werden wiederholte Messungen der Vorräte auf einem permanenten, systematischen Stichprobennetz über das gesamte Gebiet Deutschlands gemessen. Bei der BWI 2012 wurden ca. 420.000 Bäumen auf etwa 60.000 Waldprobeflächen aufgenommen. Aus den Vorräten werden die Vorratsveränderungen abgeleitet. Die Vorratsveränderung ist die Nettoveränderung zwischen den Vorräten der einzelnen Inventurjahre und umfasst den Zuwachs, die Holzernte und den Verlust durch natürliche Störungen wie beispielsweise Sturm und Mortalität. Um die Ergebnisse abzusichern, werden umfangreiche Qualitätskontrollen durchgeführt:

- Qualitätsprüfungen während der Feldaufnahmen
- Qualitätsprüfungen der erhobenen Datensätze
- Plausibilitätsprüfungen

Bezüglich der für die Bundeswaldinventur entwickelten Qualitätssicherung wird auf die Literatur zur Bundeswaldinventur (Schmitz et al., 2005)[114] verwiesen.

Unabhängig von den Berechnungen am TI-WO wurden die Kohlenstoffvorrats- und -änderungsschätzungen für die Biomasse mit einem unter PostGreSQL entwickelten Programm berechnet. Die erzielten Ergebnisse beider Berechnungen stimmen überein.

6.4.4.2 Streu und mineralische Böden

Um für die Auswertung der Probenahmen, die im Rahmen der BZE-Erhebungen durchgeführt wurden, einen einheitlichen Standard für die Laboranalytik zu erhalten, wurde eine Ringanalyse initiiert. Dabei wurden alle Labore einem Qualitätstest durch den Gutachterausschuss Forstliche Analytik unterzogen (Blum and Heinbach (2006), Blum and Heinbach (2007)). Um die Vergleichbarkeit der Labormethoden zu gewährleisten, haben nur die an der Ringanalyse erfolgreich teilgenommenen Labore die Analytik durchgeführt. Deutschland beteiligte sich auch an einer entsprechenden europäischen Ringanalyse (Cools et al., 2006).

Für die Harmonisierung der Labormessungen und Geländeerhebungen wurden im Rahmen der BZE II für die beteiligten Labore Vorschriften für die Ermittlung der zu bestimmenden Parameter erstellt, um Abweichungen aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Analysegeräte oder Analysemethoden zu vermeiden (König et al. (2005), Wellbrock et al. (2006)). Grundlage für die Zulassung der Analytiklabore waren vorangegangene Ringanalysen. Ähnliches wurde auch für die Außenaufnahmen durchgeführt. Aufgrund verschiedener Vorstudien wurden Methoden zur Probennahme zugelassen und in einem Handbuch für die Außenaufnahmen beschrieben (Wellbrock et al., 2006).

[114] siehe auch: https://bundeswaldinventur.de/ und https://bwi.info/

6.4.4.3 Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten

Der Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten kann eine grobe Einordnung der Verhältnisse in Deutschland geben. Gerade bei den Umwandlungskategorien zu Wald ist aber zu beachten, dass erhebliche methodische Unterschiede und unterschiedliche Verfahren zum Umgang mit der Übergangszeit („Transition Time“) bestehen, so dass die Ergebnisse nicht direkt miteinander vergleichbar sind.

Die folgenden Tabellen zeigen einen innereuropäischen Vergleich impliziter Emissionsfaktoren (IEF) für unterschiedliche Pools. Die Vergleichsdaten für die Kohlenstoffvorratsänderungen anderer Staaten kommen aus den Nationalen Inventurberichten der Nachbarstaaten Deutschlands. Die Emissionsfaktor stammen aus der Submission 2021 des Klimasekretariats der Vereinten Nationen; für Deutschland 2020 aus der Submission 2022.

Tabelle 385: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	0,69	1,70	1,84	1,70	2,07	1,25	0,69
Dänemark	0,14	3,03	3,00	3,35	3,62	NO	0,14
Frankreich	0,54	1,23	1,45	1,22	1,19	1,18	0,54
Großbritannien	0,75	0,97	1,04	0,96	NO	0,97	0,75
Niederlande	1,15	3,36	3,64	3,17	3,65	3,74	1,15
Österreich	0,30	1,19	1,20	1,19	1,22	1,22	0,30
Polen	0,33	0,69	0,53	1,21	NO	NO	0,33
Schweiz	0,60	0,54	0,60	0,53	0,50	0,94	0,60
Tschechische Republik	-1,63	2,03	2,00	2,00	2,05	2,05	-1,63
Deutschland 2019	**1,04**	**-1,22**	**1,03**	**-1,65**	**0,76**	**0,56**	**1,04**
Deutschland 2020	**0.75**	**-0.51**	**1.03**	**-0.71**	**0.43**	**-0.04**	**1,04**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle:(UNFCCC, 2021b)

Tabelle 386: Kohlenstoffvorratsveränderung des Totholzes in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NA	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	NO
Dänemark	0,07	0,00	0,00	0,01	0,01	NO	NO
Frankreich	-0,02	0,05	0,09	0,04	0,16	0,06	0,22
Großbritannien	0,31	0,03	0,03	0,03	NO	0,03	NO
Niederlande	0,07	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Österreich	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Polen	NA	NO,NA	NA	NA	NO	NO	NO
Schweiz	0,03	0,15	0,14	0,15	0,35	0,26	0,20
Tschechische Republik	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	NO
Deutschland 2019	**0,09**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**
Deutschland 2020	**0.09**	**0,002**	**0,002**	**0,003**	**0,003**	**0.003**	**0.003**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021b)

Tabelle 387: Kohlenstoffvorratsveränderung der Streu in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NA	0,10	0,08	0,10	0,13	0,10	NO
Dänemark	0,47	0,30	0,30	0,33	0,35	NO	NO
Frankreich	NE	0,28	0,43	0,26	0,35	0,27	0,30
Großbritannien	0,04	0,03	0,03	0,03	NO	0,03	NO
Niederlande	NO	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Österreich	NE,IE	1,21	1,39	1,25	0,78	1,21	1,21
Polen	NA	NO,NA	NA	NA	NO	NO	NO
Schweiz	-0,03	0,69	0,47	0,70	0,65	0,44	0,68
Tschechische Republik	NO	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	NO
Deutschland 2019	**-0,01**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**
Deutschland 2020	**-0,01**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle ; Quelle: (UNFCCC, 2021b)

Tabelle 388: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NA	0,89	2,09	0,67	-0,15	1,53	NO
Dänemark	NO,NA	0,16	0,17	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NE	0,07	1,06	-0,05	NO	0,46	NE
Großbritannien	0,40	-0,82	-0,86	-0,81	NO	-0,82	NO
Niederlande	NA	0,00	0,46	-0,30	0,06	0,35	2,23
Österreich	-0,18	0,70	1,20	-0,87	NO	2,64	2,91
Polen	0,10	0,26	0,37	-0,20	NO	NO	NO
Schweiz	0,00	1,10	0,69	0,98	1,45	2,27	4,21
Tschechische Republik	NO	0,28	0,30	0,17	NO	0,33	NO
Deutschland 2019	**0,41**	**0,19**	**0,33**	**0,03**	**0,08**	**1,81**	**0,94**
Deutschland 2020	**0.41**	**0.21**	**0.31**	**0.12**	**-0.36**	**1.59**	**0.73**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021b)

Tabelle 389: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	NO	NO
Frankreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	0,18	-1,83	-1,80	-1,84	NO	-1,83	NO
Niederlande	-0,93	-1,03	-0,97	-1,06	-0,97	-1,05	-0,68
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-0,68	-0,68	-0,68	-0,68	NO	NO	NO
Schweiz	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	**-2,57**	**-2,57**	**-2,58**	**-2,57**	**-2,58**	**-2,60**	**-2,45**
Deutschland 2020	**-2.65**	**-2.66**	**-2.68**	**-2.65**	**-2.66**	**-2.68**	**-2.49**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021b)

6.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.A)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2020 vorgelegt. Die Änderungen ergeben sich durch eine verbesserte Datengrundlage und betreffen folgende Pools:

- Anpassung des Stichprobennetzes zur Ermittlung der Landnutzung und Landnutzungsänderung (s. Kapitel 6.3.1ff)
- Geänderte Emissionsfaktoren für die Biomasse. Für den Verbleibenden Wald wurde für die Biomasse in der Submission 2021 jährliche EF eingeführt. In dieser Submission wurde für die Herleitung der jährlichen Zahlen die Holzeinschlagsdaten konsistent mit denen bei der Herleitung der Holzprodukte verwendet (siehe auch Kapitel 6.4.2.2 und Kapitel 6.10). Die neuen und alten EF für die Biomasse sind in Tabelle 393 gegenübergestellt. Bei Landnutzungsänderungen zum Forst ist hierbei die Vornutzung nicht berücksichtigt.
- Für das Totholz würde eine Korrektur der Daten für die Aufforstung aus der Kohlenstoffinventur 2017 vorgenommen. Die neuen und alten EF für das Totholz sind in Tabelle 392 zu finden.
- Es erfolgte eine Anpassung der Emissionsfaktoren für die Vornutzung bei der Umwandlung von Gehölzen (Grünland) zu Wald (siehe auch Kapitel 6.1.2.3.5).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben, weshalb die vorangegangene Zeitreihe angepasst wurde (s. auch Kapitel 6.3ff). Die Flächenänderungen sind in Tabelle 390 zusammengefasst.

In Tabelle 391 sind die Emissionen und Differenzen der aktuellen und letzten Submission unterteilt nach Treibhausgasen dargestellt.

Begründung für die Neuberechnung der Waldbiomasse

Bisher fußten die jährlichen Angaben zur Biomasse im Wald auf den periodischen Angaben der Waldinventuren. Dadurch gab es für alle Jahre einer Periode den gleichen Emissionsfaktor (EF). Für den Zeitraum nach der letzten Inventur wird der EF der letzten Periode fortgeschrieben.

Diese Methode steht im Einklang mit dem IPCC-Regelwerken und entspricht der „stock-difference-method“.

Für eine jährliche Differenzierung in der Treibhausgasberichterstattung wurde eine Methode (logging factor method) entwickelt, die in der Veröffentlichung RÖHLING et al. (2016) beschrieben ist. Die Einführung der jährlichen Differenzierung wurde aus den folgenden Gründen notwendig:

1. Im Rahmen des Klimaabkommens von Paris reichte Deutschland nach den Forderungen der Regularien der Europäische Union (Verordnung (EU) 2018/841, 525/2013 und 529/2013) einen National Forestry Accounting Plan (NFAP) mit der Herleitung des Forest Reverence Levels (FRL) ein. Allerdings wurde unter anderem die für die Biomasse verwendete Methode von der Europäischen Kommission (KOM) kritisiert. Daher wurde sie wie auf Seite 46 des Kommissionsberichtes „ASSESSMENT OF THE REVISED NATIONAL FORESTRY ACCOUNTING PLANS 2021-2025” abgeändert:

„The matrix model used in Germany’s FRL proposal describes the stock-change of living biomass in 2002-2007 and is based on the German National Forest Inventory 2002 and Inventory Study 2008 (see German NFAP). The weighted emission factor of this model (NFAP Addendum and Corrigendum, Table 6, amended to NFAP, Annex 1, Table I-2: -1.72 t CO2-eq ha-1 yr-1), however, is not representative for the full reference period (2000-2009).

In consultations with Germany it was decided to adjust net emissions from living biomass to reflect the full reference period, using a correction factor based on emission factors estimated by the logging factor method as described by Roehling et al. (2016). This method provides annual emission factors by using the periodical averages of stock changes in GHG reporting as a basis, but modulating these with annual harvest data. This can be interpreted as a surrogate method described in IPCC guidelines …“

Diese Abänderung der Methode und die Forderung in den europäischen Regularien, eine Konsistenz der Methoden zwischen Treibhausgasberichterstattung und NFAP herzustellen, ist ein Grund für die Einführung jährlich differenzierender Zahlen für die lebende Biomasse in der Treibhausgasberichterstattung.

2. Mit der bisherigen Methode der Fortschreibung der EF über die letzte Waldinventur (Kohlenstoffinventur 2017) hinaus konnte die Auswirkung der Waldschäden der Jahre 2018 bis 2020 auf die Biomasse nicht abgebildet werden. Mit der Einführung der jährlichen Zahlen für die Biomasse nach der Methode von RÖHLING et al. ist dies möglich, da die jährlichen Holzeinschlagszahlen zumindest ansatzweise die Waldschäden widerspiegeln.

Bei der Umstellung auf die Logging-Factor-Method (Röhling et al., 2016) wird für die Herleitung der jährlichen Zahlen der Holzeinschlag aus der Holzeinschlagsstatistik berücksichtigt. Der Holzeinschlag ist abhängig von der Bewirtschaftung der Wälder, aber auch stark von Schadereignissen wie beispielsweise Stürme. 1990 traf auf Deutschland eine Serie von Orkanen mit einem daraus resultierenden Sturmholzaufkommen von ca. 70 Mill. m^3. Das entspricht dem damaligen doppelten durchschnittlichen jährlichen Holzeinschlag. 2007 war es der Sturm Kyrill mit einem Sturmholz von ca. 37 Mill m^3. Der Wald bindet durch den Zuwachs der Bäume jedes Jahr Kohlenstoff. Die Bilanz von jährlichem Holzeinschlag und jährlichen Zuwachs ist die Kohlenstoffspeicherleistung des Waldes. Ein hoher Holzeinschlag wie beispielsweise durch die Stürme 1990 und 2007 führen zu einer geringeren Kohlenstoffspeicherleistung. Dies spiegelt sich in einem nach der Methodenumstellung niedrigeren Emissionsfaktor der Jahre 1990 und 2007, der die Kohlenstoffspeicherung pro Hektar und Jahr quantifiziert, wider.

In Tabelle 390 sind die Waldflächen und in der Tabelle 391 die Emissionen der aktuellen zu der vorjährigen Submission gegenübergestellt.

Tabelle 390: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Landnutzungsmatrix

CRF-Nr	Area [kha]	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.A	Forest Land	2021	10.838,23	10.889,45	10.940,64	10.943,52	10.963,13	10.973,81	10.982,42	10.991,03	10.999,65	11.008,29
		2022	10.838,41	10.890,11	10.941,79	10.945,03	10.964,92	10.976,55	10.984,90	10.993,25	11.001,60	11.009,95
		Differenz	0,18	0,67	1,15	1,51	1,80	2,74	2,48	2,22	1,96	1,66
		in %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle 391: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Emissionen (in [kt CO2-eq])

CRF-Nr		THG	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.A	Forest Land	CO_2	2021	-22.065,98	-79.506,15	-62.199,41	-33.145,99	-50.465,58	-62.541,61	-63.619,31	-63.384,92	-58.069,71	-57.457,64
			2022	-19.707,07	-71.100,39	-51.620,53	-34.757,61	-51.058,87	-61.754,28	-64.173,78	-63.163,65	-56.103,53	-52.764,86
			Differenz	2.358,91	8.405,76	10.578,88	-1.611,62	-593,29	787,34	-554,48	221,27	1.966,18	4.692,77
			in %	-12%	-12%	-20%	5%	1%	-1%	1%	0%	-4%	-9%
		CH_4	2021	31,96	32,13	32,27	31,72	31,61	31,66	31,64	31,59	31,55	31,51
			2022	31,97	32,15	32,30	31,79	31,65	31,68	31,67	31,61	31,58	31,53
			Differenz	0,01	0,02	0,03	0,07	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
			in %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		N_2O	2021	459,61	439,39	429,51	404,12	389,01	374,45	374,61	374,88	375,36	374,34
			2022	460,58	443,71	425,59	396,89	394,52	380,15	379,01	377,83	376,63	373,87
			Differenz	0,97	4,31	-3,92	-7,22	5,51	5,70	4,39	2,94	1,27	-0,48
			in %	0%	1%	-1%	-2%	1%	1%	1%	1%	0%	0%

Tabelle 392: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Emissionenfaktoren für Totholz (in [t C/ha])

CRF-Nr.		Submission	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2018
4.A.1	Forest Land remaining Forest Land	2021	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
		2022	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
4.A.2	Land converted to Forest Land	2021	-0,03	-0,03	-0,16	-0,22
		2022	-0,03	-0,03	-0,23	0,00

Tabelle 393: Gegenüberstellung der in Submission 2021 und 2022 berichteten Emissionenfaktoren für Biomasse (in [t C/ha])

Forest Land remaining Forest Land				
Pool	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
Submission	2021	2022	2021	2022
1990	-0,19	-0,14	-0,02	-0,01
1991	-1,47	-1,58	-0,14	-0,15
1992	-1,61	-1,71	-0,15	-0,16
1993	-1,60	-1,70	-0,15	-0,16
1994	-1,36	-1,50	-0,13	-0,14
1995	-1,53	-1,34	-0,15	-0,13
1996	-1,40	-1,42	-0,13	-0,13
1997	-1,38	-1,37	-0,13	-0,13
1998	-1,39	-1,35	-0,13	-0,13
1999	-1,40	-1,39	-0,13	-0,13
2000	-1,12	-0,87	-0,11	-0,08
2001	-1,27	-1,34	-0,12	-0,13
2002	-0,46	-0,39	-0,12	-0,10
2003	-0,42	-0,42	-0,11	-0,11
2004	-0,39	-0,39	-0,10	-0,10

Forest Land remaining Forest Land				
Pool	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
Submission	2021	2022	2021	2022
2005	-0,35	-0,38	-0,09	-0,10
2006	-0,33	-0,35	-0,08	-0,09
2007	-0,25	-0,26	-0,07	-0,07
2008	-0,97	-0,97	-0,13	-0,13
2009	-1,12	-1,11	-0,15	-0,15
2010	-0,98	-0,99	-0,13	-0,14
2011	-0,96	-0,96	-0,13	-0,13
2012	-0,93	-0,92	-0,16	-0,16
2013	-0,95	-1,00	-0,17	-0,18
2014	-1,01	-0,98	-0,18	-0,18
2015	-0,98	-0,96	-0,17	-0,17
2016	-1,02	-1,02	-0,18	-0,18
2017	-1,02	-1,00	-0,18	-0,18
2018	-0,90	-0,85	-0,16	-0,15
2019	-0,89	-0,78	-0,16	-0,14

6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.A)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant. Aussagen über den Stand der Umsetzung der geplanten Verbesserungsmaßnahmen im LULUCF-Sektor sind in Kapitel 6.1.4 zu finden.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.5 Ackerland (4.B)

6.5.1 Beschreibung der Kategorie (4.B)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**4 B, Cropland**		**CO2**	**13.762,4**	**1,1%**	**16.656,0**	**2,3%**	**21,0%**
-/-/T2	**4 B, Cropland**		**N2O**	**233,8**	**0,0%**	**645,6**	**0,1%**	**176,2%**
-/-	4 B, Cropland		CH4	145,7	0,0%	125,8	0,0%	-13,7%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	RS/NS	CS
N_2O	Tier 2	RS/NS	CS/D
CH_4	Tier 2	RS/NS	CS

Die Kategorie *Ackerland* (4.B) setzt sich aus den sieben Unterkategorien *Ackerland$_{annuell}$, Hopfen, Wein, Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen* zusammen (s. auch Kapitel 6.2.2, Kapitel 6.3.2.1, Tabelle 354). Der stratifizierte Einzelnachweis der Ergebnisse der Emissionsberechnungen für diese Subkategorien erfolgt mit dieser Submission erstmalig auch in den CRF-Tabellen. Die Kategorie ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. sowie für die N_2O-Emissionen nach der Approach-2-Analyse.

In der Kategorie „*Ackerland*“ wird über die Freisetzung/Einbindung von CO_2 aus mineralischen und organischen Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse berichtet; außerdem über direkte und indirekte Lachgasemissionen durch Humusverluste aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung zu Acker und über Methanemissionen aus organischen Böden. Direkte und indirekte Lachgasemissionen aus der Düngemittelausbringung (Kunstdünger, Wirtschaftsdünger, Klärschlamm usw.), Ernteresten und der Drainage organischer Böden unter Ackernutzung sowie durch den Zersatz organischer Substanz werden gemäß der IPCC Richtlinien (IPCC, 2006b) unter Landwirtschaft berichtet (CRF 3.D) und daher, im Kapitel Ackerland, mit dem Schlüsselvermerk IE versehen. Das Abbrennen von Feldern und

Ernterückständen ist in Deutschland per Gesetz verboten (DirektZahlVerpflV, 2004) und wird deshalb nicht berichtet (NO).

Die Emissionen aus der Landnutzungskategorie Ackerland (Summe aus $Ackerland_{annuell}$, Hopfen, Wein, Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen) sind, getrennt nach Pools, in Tabelle 394 und im CRF- Tabellenwerk in den Tabellen 4, 4.B, 4(II).B, 4(III).B und 4(IV).2 dargestellt. Die Gesamtemissionen betrugen 2020 in Deutschland 17.427,48 kt CO_2-Äquivalente. Hauptquellen sind die Böden, vor allem ackerbaulich genutzte organische Böden (65,8 %). Die Mineralböden tragen 28,6 % zur Emissionssumme bei, insbesondere durch Emissionen infolge von Grünlandumbruch. Die anthropogen bedingte Netto-Freisetzung von CO_2 aus der Biomasse (5,7 %) ist im Ackerlandsektor gering; die Subkategorien Obst, Baumschulen und Weihnachtsbaumkulturen fungierten 2020 als leichte Senken. Landnutzungsänderungen von Wald zu Ackerland fanden 2020 nicht statt, so dass Emissionen aus toter organischer Substanz nicht auftraten.

Der Anteil der perennierenden Ackerlandkulturen an den gesamten Emissionen aus dem Ackerland ist gegenüber dem annuellen Ackerland (99,8 %) sehr gering (< 1%). Die Subkategorien Obstanbau und Baumschulen stellten 2020 leichte Nettosenken dar; alle anderen Subkategorien des Ackerlandes fungierten als Nettoquellen (Tabelle 394).

Das dominierende Treibhausgas im Ackerlandsektor ist mit 16.656,04 kt CO_2-Äquivalenten das CO_2 (95,6 %); daran gemessen, sind die zu berichtenden Lachgasemissionen aus dem Zersatz organischer Bodensubstanz infolge Landnutzungsänderung zu Ackerland gering (insgesamt 645,63 kt CO_2-Eq. ≙ 3,7 % , zusammengesetzt aus direkten (527,0 kt CO_2-Eq. (CRF 4(III)) und indirekten Emissionen (118,6 kt CO_2-Eq. (CRF 4(IV)); dies gilt auch für die Methanemissionen (125,81 kt CO_2-Eq. ≙ 0,7 % (CRF 4(II).B)), aus der Nutzung organischer Böden).

Tabelle 394: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus dem Ackerland 2020. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Quellgruppe	THG	Ackerland Emissionen 2020 [kt CO_2-Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
$Acker_{annuell}$ [1]	∑	**17.310,5**	14.057,4	20.636,5	18,79	19,21
Mineralboden	CO_2 [2]	**4.318,9**	4.230,1	4.407,7	2,06	2,06
	N_2O_{direkt} [3]	**522,7**	162,5	1.549,7	68,91	196,49
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**117,6**	0,0	448,9	99,99	281,68
Organischer Boden	CO_2 [2]	**11.224,3**	7.660,0	12.847,3	31,76	14,46
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**124,5**	75,3	203,1	39,52	63,19
Biomasse	CO_2 [2]	**1.002,6**	669,3	1.279,8	33,24	27,65
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,0**	0,0	0,0	0,00	0,00
		Hopfen Emissionen 2020				
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Hopfen [1]	∑	**11,33**	**8,41**	**14,30**	**25,80**	**26,19**
Mineralboden	CO_2 [2]	**1,29**	**0,78**	**1,81**	**39,50**	**39,50**
	N_2O_{direkt} [3]	**0,14**	**0,07**	**0,32**	**51,66**	**133,19**
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,0**	**0,01**	**0,09**	**78,83**	**189,39**
Organischer Boden	CO_2 [2]	**6,28**	**3,20**	**8,85**	**49,04**	**40,95**
	N_2O [5]	**IE**	**IE**	**IE**	**IE**	**IE**
	CH_4 [6]	**0,12**	**0,05**	**0,21**	**59,97**	**79,89**
Biomasse	CO_2 [2]	**3,48**	**1,96**	**4,99**	**43,52**	**43,60**
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**

Weinbau Emissionen 2020						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Weinbau [1]	∑	**35,18**	26,37	44,29	25,04	25,90
Mineralboden	CO_2 [2]	**16,97**	13,92	20,01	17,95	17,95
	N_2O_{direkt} [3]	**1,1**	0,58	2,35	45,45	119,93
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,2**	0,07	0,65	70,45	170,87
Organischer Boden	CO_2 [2]	**0,13**	0,04	0,20	71,16	59,86
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,00**	0,00	0,00	80,35	107,38
Biomasse	CO_2 [2]	**16,77**	6,18	27,44	63,17	63,59
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00
Obstbau Emissionen 2020						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Obstbau [1]	∑	**-0,18**	-0,15	-0,20	13,02	13,16
Mineralboden	CO_2 [2]	**-18,75**	-17,26	-20,24	7,96	7,96
	N_2O_{direkt} [3]	**0,9**	0,31	2,69	67,05	186,43
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,2**	0,00	0,77	99,99	266,75
Organischer Boden	CO_2 [2]	**37,59**	22,56	50,41	39,98	34,10
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,42**	0,23	0,68	44,24	62,62
Biomasse	CO_2 [2]	**-20,59**	-17,61	-23,59	14,46	14,57
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00
Baumschulen Emissionen 2020						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Baumschulen[1]	∑	**-11,99**	-10,53	-13,44	12,18	12,08
Mineralboden	CO_2 [2]	**0,87**	0,78	0,96	10,16	10,16
	N_2O_{direkt} [3]	**0,4**	0,18	0,97	52,99	148,54
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,1**	0,01	0,27	85,66	212,67
Organischer Boden	CO_2 [2]	**23,11**	15,84	27,11	31,47	17,31
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,22**	0,13	0,35	39,92	61,70
Biomasse	CO_2 [2]	**-36,67**	-31,36	-41,98	14,46	14,48
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00
Weihnachtbaumkulturen Emissionen 2020						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Weihnachtsbaum-kulturen[1]	∑	**43,58**	36,83	50,40	15,50	15,64
Mineralboden	CO_2 [2]	**12,60**	11,27	13,92	10,51	10,51
	N_2O_{direkt} [3]	**1,55**	0,65	4,08	58,07	163,21
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,35**	0,02	1,16	94,04	233,72
Organischer Boden	CO_2 [2]	**41,19**	27,68	48,19	32,81	16,99
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,47**	0,28	0,74	40,95	58,51
Biomasse	CO_2 [2]	**-10,92**	-8,42	-13,45	22,89	23,15
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00

Kurzumtriebsplantagen Emissionen 2020						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Weihnachtsbaum-kulturen[1)]	∑	**37,43**	32,59	42,41	12,92	13,30
Mineralboden	CO_2 [2)]	**2,14**	1,91	2,38	10,93	10,93
	N_2O_{direkt} [3)]	**0,3**	0,15	0,62	45,48	125,34
	$N_2O_{indirekt}$ [4)]	**0,1**	0,02	0,17	72,64	179,22
Organischer Boden	CO_2 [2)]	**2,71**	-0,43	5,74	115,92	111,77
	N_2O [5)]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6)]	**0,13**	-0,06	0,33	147,05	162,82
Biomasse	CO_2 [2)]	**32,11**	28,45	35,95	11,41	11,95
Streu/Totholz	CO_2 [2)]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00

1) Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.B, 4.(II).B, 4.(III).B, 4.(IV).2

2) CRF-Tabelle 4.B

3) CRF-Tabelle 4.(III).B

4) Die kategoriespezifischen indirekten N_2O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Subkategorien

5) CRF-Tabelle 3.D.a.6

6) CRF-Tabelle 4.(II).B

Abbildung 68 und Abbildung 69 zeigen den Verlauf der Emissionen aus dem Ackerland über die Zeit. Die Gesamtemission war im Jahr 2020 um 3.283,98 kt CO_2-Eq ≙ 23,2 % größer als im Basisjahr 1990. Hauptursache für den generellen Trend ist die Zunahme der Emissionen aus den Mineralböden (198,5%), hauptsächlich infolge von Grünlandumbruch (CRF 4.B.2.1.1; 4.B.2.2.1.1 - 4.B.2.2.1.4). Emissionen aus der Entwaldung sind über die gesamte Zeitreihe nicht aufgetreten. Auch die Emissionen infolge Landnutzungsänderungen von Feuchtgebieten zu Ackerland (94,3 kt CO_2-Eq ≙ 0,5 %) sind absolut gering, weisen aber eine Zunahme gegenüber 1990 von 968 % auf, hauptsächlich zurückzuführen auf den Pool organische Böden, gefolgt von der Biomasse. Die Umwandlung von Siedlungsflächen führte 2020 zu negativen Emissionen in Höhe von 65,7 kt CO_2-Eq. Ein einheitlicher Trend ist nicht auszumachen (Abbildung 68).

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen, insbesondere deutliche Änderungen, haben ihre Ursache vor allem in den periodischen Erhebungsterminen der Flächendaten (siehe Kapitel 6.3.5). Der Erfassung von Landnutzungsänderungen anhand räumlich expliziter Daten lagen Datensätze der Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020 zugrunde (vergl. Kapitel 6.3). Landnutzungsänderungen, die zwischen diesen Jahren auftraten, wurden durch lineare Interpolation ermittelt, so dass die jährlichen Konversionsflächen zwischen den Erhebungszeitpunkten konstant sind.

Die deutlichen Änderungen im Verlauf der Trends im Jahr 2000 ist im Wesentlichen auf unterschiedliche Datengrundlagen zurückzuführen. Beginnend mit dem Berichtsjahr 2000 können die Flächendaten des B-DLM des ATKIS dem Nachweis von Flächen und Landnutzung zugrunde gelegt werden. Diese weisen eine sehr viel höhere räumliche und zeitliche Auflösung auf, als die von CORINE Landcover (CLC), die für die Jahre vor 2000 zur Ausweisung der Flächennutzung herangezogen werden müssen (Kapitel 6.3.2.2). Obschon die ältere Datenreihe des CLC mittels des "Overlap Approach" (IPCC (2006b): Vol. 1 Ch. 5.3.3) an die neuere, höher auflösende Datenreihe des Basis-DLM angeglichen wurde, führte der Wechsel der Datengrundlage vom Jahr 2000 an, zu deutlich mehr detektierbaren Landnutzungsänderungen gegenüber der Periode von 1990 - 2000, insbesondere von Grünland zu Ackerland.

Abbildung 68: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2020 nach Unterkategorien (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)

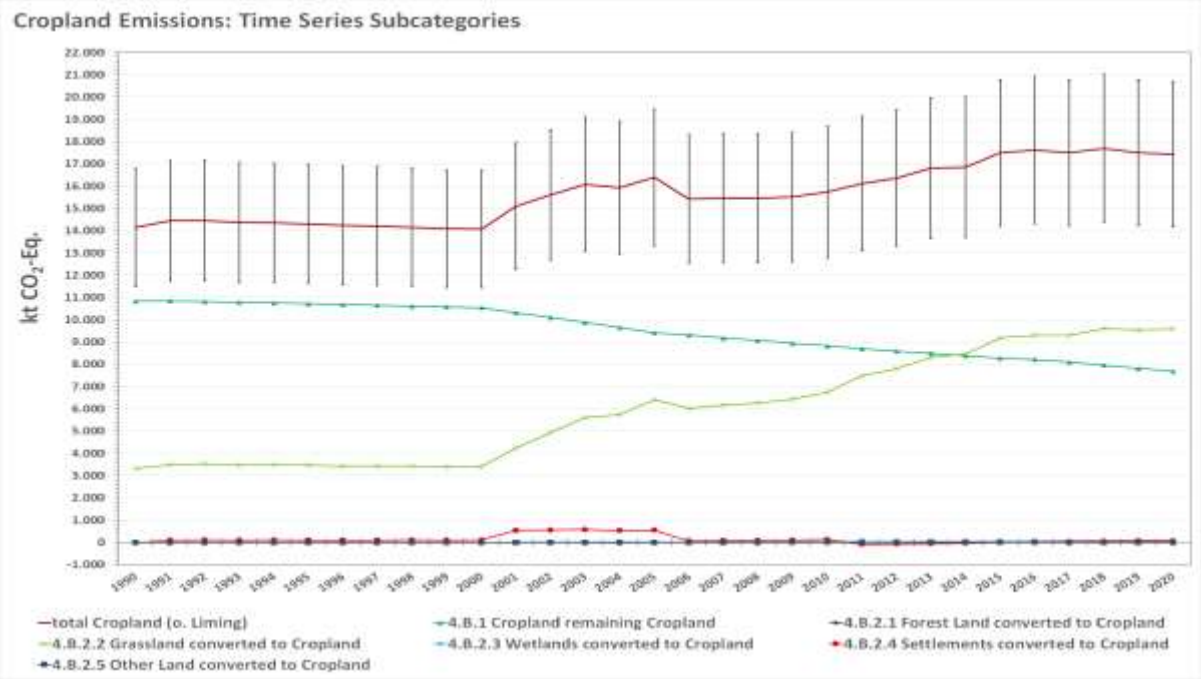
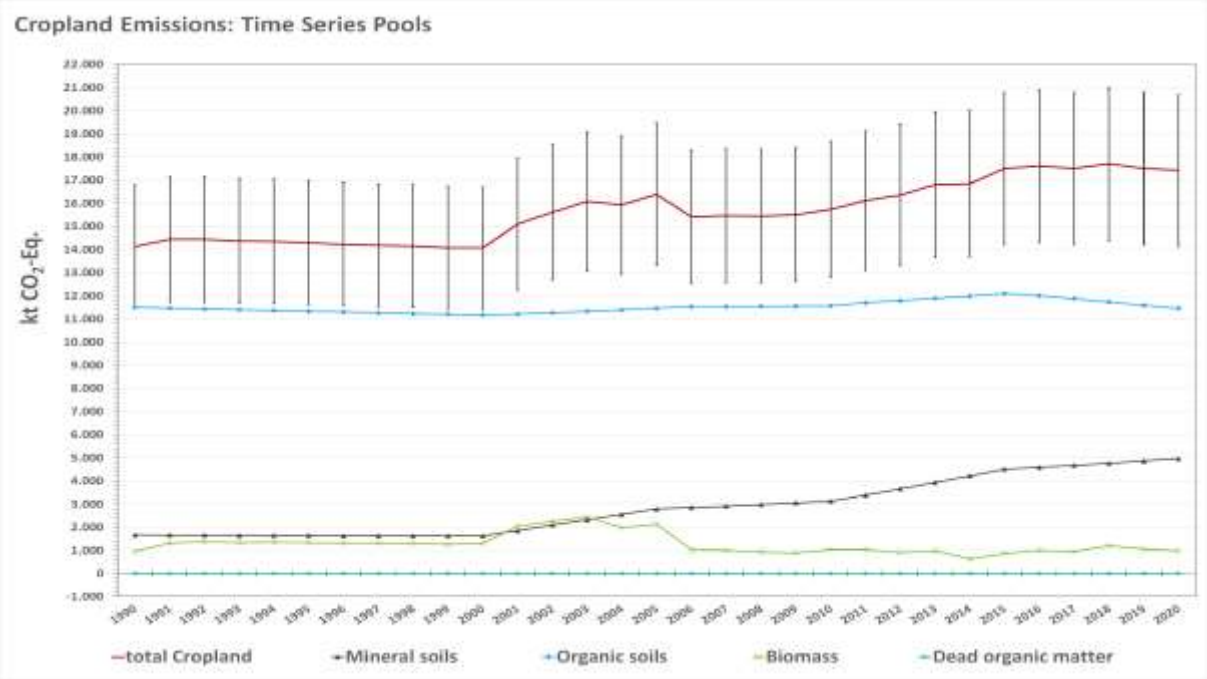


Abbildung 69: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2020 nach Pools (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)



6.5.2 Methodische Aspekte (4.B)

6.5.2.1 Datenquellen

Es wurden folgende Datenquellen/-sätze genutzt:

- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3b);
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.2.1, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte; (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1)
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.1.2, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen); (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2);
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006b)
- „Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung –DüV)“ (Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist) (Bundesgesetzblatt, 2012).
- Zwischenbericht Forschungsprojekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Wäldern“ (Pöpken, 2011).
- (Jacobs et al., 2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung; Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 S. Thünen Report 64; Braunschweig. DOI:10.3220/REP1542818391000

6.5.2.2 Biomasse

In der Kategorie Ackerland wird der Pool Biomasse weiter untergliedert nach Ausprägung der Pflanzen in (vergl. Kapitel 6.2.2 und Kapitel 6.3.2.1)

- krautige Pflanzen ($Ackerland_{annuell}$)
- mehrjährige Gehölzkulturen (Hopfen-, Wein- und Obstanbauflächen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen).

Die Methodik zur Bestimmung der THG-Emissionen aus der pflanzlichen Biomasse mehrjähriger Gehölzkulturen wurde beginnend mit dieser Submission grundlegend umgestellt; es werden nun die Wachstumsstadien der Pflanzen in Abhängigkeit vom Alter der Kultur und deren Bewirtschaftungsform (Umtriebszeiten) zeitgenau modelliert, damit die Emissionen, entsprechend der Vorgaben der IPCC Guidelines 2006, in dem Jahr berichtet werden können, in dem sie anfallen. Die Methoden und Unterstellungen zur Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse von Pflanzen sind in Kapitel 6.1.2.3 ff beschrieben, die spezifischen Methoden und die Herleitung der Emissionsfaktoren für:

- krautige Pflanzen annueller Kulturen in Kapitel 6.1.2.3.3,
- Hopfenanbauflächen in Kapitel 6.1.2.3.5.6,
- Weinanbauflächen in Kapitel 6.1.2.3.5.2,
- Weihnachtsbaumkulturen in Kapitel 6.1.2.3.5.4,
- Baumschulen in Kapitel 6.1.2.3.5.3,
- Kurzumtriebsplantagen in Kapitel 6.1.2.3.5.5.

6.5.2.2.1 Landnutzungsänderung

Annuelle und perennierende Ackerkulturen werden differenziert nach den in Kapitel 6.5.2.2 angeführten Unterkategorien räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen. Daher werden bei

Landnutzungsänderungen von/zu Ackerland die in Kapitel 6.1.2.3.3 und Kapitel 6.1.2.3.4 aufgeführten Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse, nach den in Kapitel 6.1.2.3.1 ff beschriebenen Methoden, als Ziel- bzw. Ausgangswert, den Berechnungen der CO_2-Einbindung/Emissionen in/aus dem Pool Ackerlandbiomasse zugrunde gelegt.

6.5.2.2.2 Verbleibkategorie

Während in den Verbleibkategorien $Ackerland_{annuell}$ und Hopfenanbau einheitliche Vegetationsstrukturen auftreten, somit bezüglich der Biomasse ein dynamisches Gleichgewicht unterstellt werden kann (folglich keine Emissionen auftreten; die entsprechenden Felder im Tabellenwerk sind mit dem Notationsschlüssel NA versehen) (s. Kapitel 6.1.2.3.1), werden die C-Vorräte der pflanzlichen Biomasse in den Subkategorien Wein- und Obstanbau, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen für jedes Berichtsjahr berechnet. Flächenumwidmungen zwischen den einzelnen Ackerland-Subkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt und in CRF- 4.b explizit ausgewiesen. Die Flächenänderungen zwischen annuellen und den ausgewiesenen perennierenden Ackerkulturen können ab sofort räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen werden. Die Berechnung erfolgt nach der in Kapitel 6.1.2.3.1 ff beschriebenen Gain-Loss Methode (2006 IPCC Guidelines).

6.5.2.3 Mineralische Böden

6.5.2.3.1 Landnutzungsänderung

Die Berechnung der CO_2-Emissionen infolge der Umwandlung von Landflächen in Ackerland ist in Kapitel 6.1.2.1, für die direkten N_2O-Emissionen in Kapitel 6.1.2.7 und für indirekte N_2O-Emissionen in Kapitel 6.1.2.8 beschrieben. Die Emissionsfaktoren für Kohlenstoff sind in Tabelle 336 und Tabelle 337 (Kapitel 6.1.2.1.1), die für direkte Lachgasemissionen in Tabelle 351 (Kapitel 6.1.2.7), und für indirekte N_2O-Emissionen in Tabelle 352 (Kapitel 6.1.2.8) dargestellt. Die Herleitung der Emissionsfaktoren ist in Kapitel 6.1.2.1 beschrieben, die Unsicherheiten sind in Tabelle 395 (Kapitel 6.6.3) ausgewiesen. Die Ergebnisse für die Emissionen aus Mineralböden finden sich für die:

- CO_2-Emissionen in den CRF-Tabellen 4.B.2.1-4.B.2.5,
- direkten N_2O-Emissionen in den CRF-Tabellen 4.III.2.1-4.III.2.5,
- indirekten N_2O-Emissionen in der CRF-Tabelle 4.IV.2.

Die direkten und indirekten Lachgasemissionen infolge des Zersatzes organischer Substanz in Mineralböden der Verbleibkategorie Ackerland, werden gemäß den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) im Tabellenwerk des Landwirtschaftssektors berichtet (3.D.a.5).

6.5.2.3.2 Verbleibkategorie

Für Flächen unter verbleibender Ackerlandnutzung wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden gleichnamiger Subkategorien ausgewiesen; folglich wird auch kein Lachgas infolge von Mineralisierung organischer Bodensubstanz freigesetzt. Die Annahme, dass Mineralböden unter anhaltender Ackernutzung in Deutschland keine Quellen für Kohlenstoff und Stickstoff sind, wurde mit folgenden Argumenten hinterlegt:

- Ergebnisse von 140 regionalen Langzeituntersuchungsflächen (Höper and Schäfer (2012); Fortmann et al. (2012) und Blum and Heinbach (2007)), die die Konstanz des Kohlenstoffvorrats seit Anfang der 1990er Jahre belegen.

- Erste Untersuchungen zur Kohlenstoffbilanz von Ackerlandflächen an 180 Standorten der landesweiten Bodenzustandserhebung Landwirtschaft, mittels Modellen (Dreysse, 2015). Zum einen kam das für die praktische Beratung entwickelte Bilanzierungsmodell „VDLUFA-Humusbilanzierung“ (Körschens et al. (2004)) zum Einsatz, zum anderen das prozessgesteuerte, standortangepasste Modell „CandyCarbonBalance“ (Franko et al., 2011) zum Einsatz. Beide Modelle zeigen eindeutig, dass die untersuchten, langjährig genutzten Ackerböden keine Quellen für CO_2 darstellen (Dreysse, 2015).
- Metastudien wie Baker et al. (2007) und Luo et al. (2010) zeigen, dass die Art der Bodenbearbeitung bei einer Betrachtungstiefe > 60 cm keinen Einfluss auf den Gesamtkohlenstoffvorrat von Mineralböden hat.

In Ergänzung dieser Argumente können nun mehr weitergehende und umfassendere Beweisgründe für die Richtigkeit o.a. Thesen angeführt werden:

1. Die Ergebnisse der bundesweiten Auswertung der deutschen Bodendauerbeobachtungsflächen (Marx et al., 2016).
2. Analyse der Zeitreihen des Kohlenstoffeintrags durch organische Düngemittel und Ernterückstände; der Kohlenstoffeintrag wurde abgeleitet aus dem jeweiligen Stickstoffeintrag in die Ackerflächen Deutschlands, die für diese Quellgruppen des Landwirtschaftssektors berechnet wurden (CRF-Tabelle 3.D).
3. Die Düngemittelempfehlungen zur Umsetzung der Deutschen Düngeverordnung und der Europäischen Nitratrichtlinie

zu 1.) Die Ergebnisse der Bodendauerbeobachtungsflächen der Bundesländer wurden in einem Forschungsprojekt zusammengetragen, harmonisiert und bundesweit synthetisch ausgewertet (Marx et al., 2016). Die wesentlichen Ergebnisse sind:

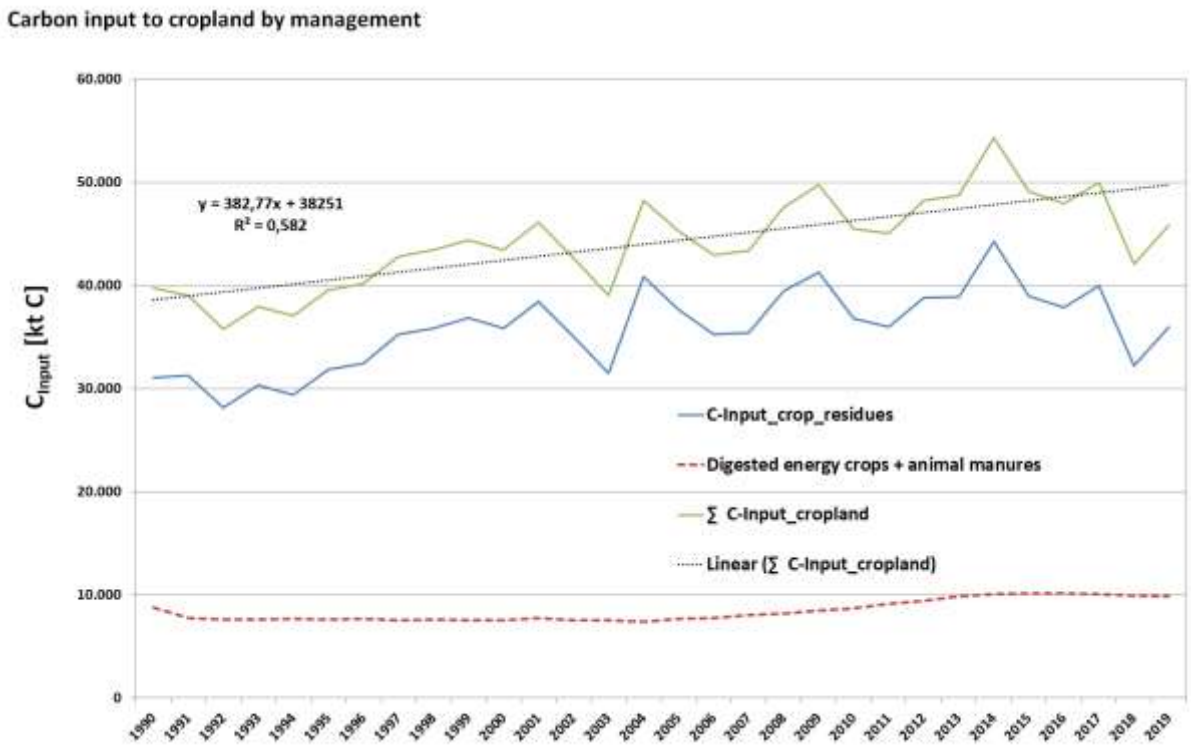
- Die bundesweite Auswertung der BDF bezüglich Kohlenstoffvorratsänderungen bestätigt das Bild der bisherigen Länderbetrachtung. Der Anteil der Standorte, an denen keine statistisch abgesicherten Veränderungen auftreten überwiegt deutlich; so zeigen 77 % der Mineralböden unter Acker keine Kohlenstoffvorratsänderungen, 10 % eine signifikante Zu-, 13 % eine signifikante Abnahme (Marx et al., 2016).
- An 157 Acker-BDF Standorten lagen für eine Korrelation auswertbare organische Bodenkohlenstoff- und Bewirtschaftungsdaten vor. Eine positive signifikante Korrelation zwischen den organische Bodenkohlenstoffdifferenzen und der Bewirtschaftung konnte nur an zwei Standorten nachgewiesen werden, dies entspricht ca. 1,3 %. Der Einfluss der Bewirtschaftung auf den Kohlenstoffgehalt ist marginal (Marx et al., 2016).
- Als wichtigste Einflussgrößen, die den Gehalt an organischem Kohlenstoff in Böden erklären, konnten Marx et al. (2016) den Tongehalt, den Niederschlag und die Temperatur ausmachen, gefolgt von weiteren Standortparametern. Bewirtschaftungsfaktoren trugen unerheblich zur Erklärung der Varianz der Kohlenstoffgehalte in den Mineralböden unter Ackerland bei. Als wichtigste Einflussgrößen für die langfristige Veränderung der Kohlenstoffgehalte konnten in der Studie der Ausgangsgehalt an Kohlenstoff sowie der Tongehalt ermittelt werden.

Die Ergebnisse der bundesweiten Auswertung der Bodendauerversuchsstandorte durch Marx et al. (2016) bestätigen die These, dass die Netto-Kohlenstoffvorratsänderungen in den Mineralböden von Ackerlandstandorten im Durchschnitt Null sind. Auftretende Veränderungen werden im Wesentlichen nicht durch die Bewirtschaftung beeinflusst sondern sind standortbedingt.

zu 2.) Der Trend des Kohlenstoffeintrags durch organischen Dünger und Ernterückstände erlaubt eine unabhängige Abschätzung des Bewirtschaftungseinflusses hinsichtlich der Humusbilanz. Ein positiver Trend deutet auf eine Netto-C-Senke hin, während ein negativer Trend Indiz für eine potentielle Abnahme des Kohlenstoffvorrates ist. Als Grundlage für die Trendschätzung dient der Stickstoffeintrag in die Mineralböden, der für den Landwirtschaftssektor (CRF-Tabelle 3.D) des deutschen THG-Inventars ermittelt wurde. Daraus leitet sich der Kohlenstoffeintrag durch organische Dünger angenähert ab, indem der Stickstoffeintrag mit einem durchschnittlichen C/N-Verhältnis von 12 (repräsentativ für die Mischung aus Gülle und Dung, die die organischen Dünger dominieren) multipliziert wird. 66 % des organischen Düngers werden in Deutschland auf Ackerland und 34 % auf Grünland angewendet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.2). Abbildung 70 zeigt folgende Ergebnisse:

- Der Kohlenstoffeintrag mit organischen Düngern weist seit 1990 einen nur leichten, wenn auch hochsignifikanten Anstieg auf;
- Der Kohlenstoffeintrag mit den Ernterückständen hat seit 1990 deutlich zugenommen; eine differenzierte Betrachtung des Zeitraums nach 2005 zeigt, dass im Durchschnitt über die Jahre keine weitere Zunahme zu verzeichnen war
- Insgesamt ist eine Zunahme der Kohlenstoffeinträge in Mineralböden unter Ackerland seit 1990 zu verzeichnen; auch für die gesamten Einträge gilt, dass diese im Durchschnitt der letzten Jahre stagnierten

Abbildung 70: Kohlenstoffeintrag [kt C] mittels organischen Dünger und Ernteresten in Ackerland 1990 - 2019



So bestätigen die Ergebnisse dieser nationalen Analyse, unabhängig von den Ergebnissen der Bodendauerbeobachtung, dass mineralische Böden in der Kategorie „Ackerland bleibt Ackerland“, wenn überhaupt, eher eine sehr schwache Netto-Kohlenstoffsenke als eine -quelle sind. Angesichts der Tatsache, dass Kulturpflanzen weniger pro Kohlenstoffeinheit für die Humusbilanz von Böden beitragen als organische Düngemittel, wird die Schätzung einer Nullbestandsveränderung erneut als robust bestätigt.

zu 3.) Ein weiterer Hinweis darauf, dass Mineralböden unter Dauerackerland keine organische Bodensubstanz verlieren, liefern die Düngeempfehlungen für annuelle Ackerpflanzen, welche durch die Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer den Landwirten gegeben werden. Damit werden die Ziele der deutschen Gesetzgebung zur Düngung unterstützt, mit welcher auch die Europäische Nitratrichtlinie umgesetzt werden soll. In §6 der Düngeverordnung (DüV; Bundesgesetzblatt (2012)) sind verpflichtende Höchstgrenzen für Stickstoffüberschüsse auf Ackerland festsetzt, die von den Behörden kontrolliert werden. Die zuständigen Behörden der Bundesländer stellen den Landwirten Daten und Tools für die Düngebedarfsermittlung zur Verfügung. Die DüV legt dezidiert fest, welche Parameter hierbei zu beachten sind (z.B. diverse Standortfaktoren, Anbaubedingungen, Bewirtschaftung, Frucht, Vorfrucht, Restgehalte, organische Dünger usw.) und führt des Weiteren aus, dass zur Ermittlung des Düngebedarfs die Ergebnisse regionaler Feldversuche herangezogen werden sollen (§3, Abs. 2 DüV Bundesgesetzblatt (2012)). So basieren die von den einzelnen Bundesländer entwickelten Werkzeuge zur Abschätzung des Stickstoffdüngebedarfs sowie die diesen zugrunde liegenden Daten auf regionalen Messungen und Düngeversuchen. Stickstoffverluste aus der Mineralisierung organischer Bodensubstanz werden jedoch in keinem dieser Systeme berücksichtigt. Als Stickstoffquellen wirken offensichtlich ausschließlich organische Dünger und Ernterückstände nicht jedoch die Mineralisierung organischer Bodensubstanz. Daraus folgt, ergänzend zu den Ergebnissen aus 1.), dass in der Kategorie „Ackerland bleibt Ackerland“ keine N_2O-Emissionen infolge der Mineralisierung organischer Bodensubstanz auftreten und somit auch keine Kohlenstoffverluste.

Nichtsdestotrotz werden in der Ackerland Verbleibkategorie Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden ausgewiesen. Diese sind auf "Nutzungsübergänge" zwischen den ungleichnamigen Subkategorien des Ackerlandes zurückzuführen. Solche werden wie Landnutzungsänderungen behandelt, die daraus resultierenden Emissionen jedoch summarisch in der Verbleibkategorie zusammengefasst (Kapitel 6.1.2.1).

Die Empfehlung der EU-Komission, in den „Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals“ (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017) für Deutschland ein System zu entwickeln, mit dem künftig Veränderungen der Kohlenstoffvorräte von Böden infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen bzw. Kohlenstoffsequestrierung infolge CM und GM erfasst und berichtet werden können, wurde damit aufgegriffen und teilweise gelöst; weitergehende Lösungsmöglichkeiten für gleichnamige Subkategorien werden derzeit erarbeitet und überprüft.

6.5.2.4 Organische Böden

Die Berechnungen der CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen aus organischen Böden infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung sowie die Herleitung der entsprechenden Emissionsfaktoren sind in Kapitel 6.1.2.2 beschrieben, die Ermittlung der Flächen sowie Flächennutzung in Kapitel 6.3.1 ff. Die jährlichen Emissionen nach Landnutzungsänderung werden wie die Emissionen aus verbleibender Ackernutzung berechnet, letztere werden in der CRF-Tabelle 4.B.1, die Emissionen infolge von Landnutzungsänderung in CRF-Tabellen 4.B.2.1 - 4.B.2.5 ausgewiesen.

Die N_2O-Emissionen aus ackerbaulich genutzten organischen Böden werden im Sektor „Landwirtschaft“ unter Kapitel 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols“ berichtet.

Die im Sektor „Landwirtschaft“ unter Kap. 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols“ berichteten Flächen unterscheiden sich nicht von denen, die im LULUCF-Sektor berichtet werden(siehe auch Kapitel 6.1.2.2.1).

Die Methanemissionen aus organischen Böden sowie aus Draingräben sind in der CRF-Tabelle 4(II), B. Cropland zu finden.

6.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.B)

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten erfolgten gemäß der IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006b). Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 6.1.2.1. Tabelle 395 bis Tabelle 402 zeigen die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren (EF) des Ackerlandsektors, unterschieden nach Pools und Unterkategorien.

Die Tabelle 395 unterstreicht, dass Standardnormalverteilungen bzw. annähernd Normalverteilungen hauptsächlich die EF für die Mineralböden und Biomasse aufweisen. Die Unsicherheiten sind hier gleichzeitig die geringsten, was auf die Nutzung der Ergebnisse der großangelegten, landesweiten Inventuren zurückzuführen ist. Insbesondere die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren im Mineralbodenbereich für Siedlungen konnten durch die neue Methode gegenüber dem Vorjahr deutlich gesenkt werden. Mit Ausnahme des EF für CO_2 aus organischen Böden, der eine rechtssteile Verteilung aufweist, sind die anderen EF für CO_2 aus Böden normal verteilt. Die größten Unsicherheiten weisen die N_2O- EF für Mineralböden auf, was im Wesentlichen auf die Nutzung der IPCC-Standardfaktoren zurückzuführen ist.

Bei den Unsicherheiten der Faktoren für indirekte N_2O-Emissionen wurden, im Rahmen der Gaußschen Berechnung der Unsicherheitsfortpflanzung, für die untere Schranke des 95 %-Konfidenzintervalls, Unsicherheiten > 100 % berechnet. Diese Berechnungsmethode entspricht zwar dem Reglement, ist hier fachlich jedoch nicht zielführend. Aufgrund der den indirekten N_2O-Emissionen aus Mineralböden zugrunde liegenden Prozessen, können für diese keine negativen Emissionen auftreten. Daher wurde die Unsicherheit für die untere Schranke auf 99,9 % festgelegt.

Die große Unsicherheit der EF für Methan und Lachgas aus organischen Böden beruht auf deren extrem großer Variabilität bei den Geländemessungen und dem Umstand, dass beim Methan auch negative Emissionen auftreten können (s. Kapitel 6.1.2.2.2).

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten sind normalverteilt und die Hälfte des 95 % -Konfidenzintervalls beträgt im Ackerlandbereich zwischen 0,04 – 196 %. Beim Rasterpunktansatz ist der Stichprobenfehler systembedingt abhängig von der Stichprobengröße, somit vom Flächenanteil der jeweiligen Unterkategorie an der Gesamtfläche (vergl. Kapitel 6.3). So weisen lediglich die Unterkategorien im Ackerlandbereich größere Unsicherheiten auf (≥ 100 %) deren absolute Fläche < 5 ha beträgt. Eine flächengewichtete Ableitung einer Gesamtunsicherheit der Flächendaten in der Ackerlandkategorie ergibt eine Unsicherheit von 0,04 % [Hälfte des 95-% Konfidenzintervalls].

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Ackerland beträgt 18,3 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 18,7 % [97,5 % -Perzentil]; den Hauptbeitrag hierzu leisten die CO_2-Emissionen aus den organischen Böden.

Bezogen auf das gesamte LULUCF-Inventar zeigt sich ein ähnliches Bild: Während die Emissionen aus dem Ackerlandbereich bezüglich der organischen Böden einen erheblichen Anteil an den nationalen LULUCF-Emissionen aufweisen, sind die Emissionen aus Mineralböden nur im Falle des Grünlandumbruchs eine relenvante Größe (vergl. Kapitel 6.1.2.10).

Tabelle 395: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem annuellen Ackerland Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5 %-Perzentil [%] der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

$Ackerland_{annuell}$		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	0,0000	6,16	6,16
Hopfen	$Acker_{annuell}$	-0,0892	5,69	5,69
Weinanbau	$Acker_{annuell}$	0,5338	7,24	7,24
Obstanbau	$Acker_{annuell}$	-0,4446	6,81	6,81
Kurzumtriebsplantagen	$Acker_{annuell}$	-0,1128	5,69	5,69
Baumschulen	$Acker_{annuell}$	-0,0925	5,69	5,69
Weihnachtsbaumkulturen	$Acker_{annuell}$	-0,0872	5,69	5,69
Grünland i.e.S.	$Acker_{annuell}$	-1,1632	1,98	1,98
Gehölze	$Acker_{annuell}$	-0,0978	5,69	5,69
Terr. Feuchtgebiete	$Acker_{annuell}$	-1,5383	7,56	7,56
Gewässer	$Acker_{annuell}$	-0,0757	1,74	1,74
Siedlungen	$Acker_{annuell}$	1,1820	4,56	4,56
Sonstige Fläche	$Acker_{annuell}$	0,2788	2,23	2,23
Mineralboden N_2O_{direkt} [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	0,0000	186,83	487,54
Grünland i.e.S.	$Acker_{annuell}$	1,6571	184,93	486,83
Gehölze	$Acker_{annuell}$	0,1483	187,53	487,80
Terr. Feuchtgebiete	$Acker_{annuell}$	1,8864	188,62	488,21
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	0,0000	186,83	487,54
Grünland i.e.S.	$Acker_{annuell}$	0,3729	184,93	486,83
Gehölze	$Acker_{annuell}$	0,0334	187,53	487,80
Terr. Feuchtgebiete	$Acker_{annuell}$	0,4244	188,62	488,21
Biomasse [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	0,0000	23,55	23,55
Hopfen	$Acker_{annuell}$	0,0774	9,69	9,69
Weinanbau	$Acker_{annuell}$	0,0357	11,79	11,79
Obstanbau	$Acker_{annuell}$	-0,2426	11,71	11,71
Kurzumtriebsplantagen	$Acker_{annuell}$	-1,6838	7,68	9,73
Baumschulen	$Acker_{annuell}$	-0,6091	19,91	19,91
Weihnachtsbaumkulturen	$Acker_{annuell}$	-1,4970	26,75	26,75
Grünland i.e.S.	$Acker_{annuell}$	-0,0190	16,53	16,53
Gehölze	$Acker_{annuell}$	-3,1576	51,66	52,47
Terr. Feuchtgebiete	$Acker_{annuell}$	-2,9007	41,57	42,89
Gewässer	$Acker_{annuell}$	0,5433	11,19	11,19
Torfabbau	$Acker_{annuell}$	0,5638	11,19	11,19
Siedlungen	$Acker_{annuell}$	-1,0402	45,90	47,36
Sonstige Fläche	$Acker_{annuell}$	0,1332	11,19	11,19
Tote organische Substanz [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 396: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Hopfenanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

Hopfen		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Hopfen**	0,0000	8,06	8,06
$Acker_{annuell}$	**Hopfen**	0,0009	5,69	5,69
Weinanbau	**Hopfen**	0,6795	9,41	9,41
Obstanbau	**Hopfen**	-0,4145	8,46	8,46
Kurzumtriebsplantagen	**Hopfen**	0,0000	7,84	7,84
Baumschulen	**Hopfen**	0,0000	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen	**Hopfen**	0,0098	7,84	7,84
Grünland i.e.S.	**Hopfen**	-0,9010	4,93	4,93
Gehölze	**Hopfen**	-0,0092	7,84	7,84
Terr. Feuchtgebiete	**Hopfen**	0,0000	8,56	8,56
Gewässer	**Hopfen**	0,0000	11,09	11,09
Siedlungen	**Hopfen**	1,2097	8,11	8,11
Sonstige Fläche	**Hopfen**	0,0000	8,55	8,55
Mineralboden N_2O_{direkt} [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	**Hopfen**	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	**Hopfen**	1,2811	185,17	486,92
Gehölze	**Hopfen**	0,0147	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	**Hopfen**	0,0000	188,80	488,28
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	**Hopfen**	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	**Hopfen**	0,2882	185,17	486,92
Gehölze	**Hopfen**	0,0033	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	**Hopfen**	0,0000	188,80	488,28
Biomasse [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	**Hopfen**	0,0000	23,55	23,55
$Acker_{annuell}$	**Hopfen**	-0,1216	9,69	9,69
Weinanbau	**Hopfen**	0,2530	13,28	13,28
Obstanbau	**Hopfen**	-0,1550	12,23	12,23
Kurzumtriebsplantagen	**Hopfen**	0,0000	7,77	9,83
Baumschulen	**Hopfen**	0,0000	20,45	20,45
Weihnachtsbaumkulturen	**Hopfen**	-2,2359	27,63	27,63
Grünland i.e.S.	**Hopfen**	-0,1333	18,43	18,43
Gehölze	**Hopfen**	-7,5013	52,14	52,95
Terr. Feuchtgebiete	**Hopfen**	0,0000	42,49	43,84
Gewässer	**Hopfen**	0,0000	16,54	16,54
Torfabbau	**Hopfen**	0,0000	16,54	16,54
Siedlungen	**Hopfen**	-1,7922	46,65	48,13
Sonstige Fläche	**Hopfen**	0,0000	16,54	16,54
Tote organische Substanz [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	**Hopfen**	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 397: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha-1 a-1] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Weinanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

Weinanbau		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	9,57	9,57
$Acker_{annuell}$	Weinanbau	-0,5641	7,24	7,24
Hopfen	Weinanbau	0,0000	9,41	9,41
Obstanbau	Weinanbau	-1,0718	9,90	9,90
Kurzumtriebsplantagen	Weinanbau	0,0000	9,41	9,41
Baumschulen	Weinanbau	-0,6795	9,41	9,41
Weihnachtsbaumkulturen	Weinanbau	-0,6761	9,41	9,41
Grünland i.e.S.	Weinanbau	-1,3500	6,05	6,05
Gehölze	Weinanbau	-0,5557	9,41	9,41
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	-1,4361	9,65	9,65
Gewässer	Weinanbau	-0,6795	16,07	16,07
Siedlungen	Weinanbau	0,7356	10,28	10,28
Sonstige Fläche	Weinanbau	-0,3149	11,54	11,54
Mineralboden N_2O_{direkt} [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	187,44	487,76
Grünland i.e.S.	Weinanbau	1,9215	185,31	486,97
Gehölze	Weinanbau	0,8096	188,16	488,03
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	1,7257	189,02	488,36
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	187,44	487,76
Grünland i.e.S.	Weinanbau	0,4323	185,31	486,97
Gehölze	Weinanbau	0,1822	188,16	488,03
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	0,3883	189,02	488,36
Biomasse [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	22,92	22,92
$Acker_{annuell}$	Weinanbau	0,0593	11,79	11,79
Hopfen	Weinanbau	0,0000	13,28	13,28
Obstbau	Weinanbau	-0,7432	11,87	11,87
Kurzumtriebsplantagen	Weinanbau	0,0000	7,67	9,67
Baumschulen	Weinanbau	-0,6334	19,41	19,41
Weihnachtsbaumkulturen	Weinanbau	-0,0987	25,79	25,79
Grünland i.e.S.	Weinanbau	0,0119	17,34	17,34
Gehölze	Weinanbau	-6,5612	50,94	51,73
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	0,1180	40,27	41,54
Gewässer	Weinanbau	0,1060	19,20	19,20
Torfabbau	Weinanbau	0,0000	19,20	19,20
Siedlungen	Weinanbau	-1,6552	44,79	46,22
Sonstige Fläche	Weinanbau	0,0607	19,20	19,20
Tote organische Substanz [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 398: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Obstanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

Obstanbau		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1)]		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	**Obstanbau**	0,0000	8,59	8,59
$Acker_{annuell}$	**Obstanbau**	0,4606	6,81	6,81
Hopfen	**Obstanbau**	0,3953	8,46	8,46
Weinanbau	**Obstanbau**	0,9363	9,90	9,90
Kurzumtriebsplantagen	**Obstanbau**	0,4329	8,46	8,46
Baumschulen	**Obstanbau**	0,4367	8,46	8,46
Weihnachtsbaumkulturen	**Obstanbau**	0,4255	8,46	8,46
Grünland i.e.S.	**Obstanbau**	-0,5750	5,84	5,84
Gehölze	**Obstanbau**	0,3648	8,46	8,46
Terr. Feuchtgebiete	**Obstanbau**	-1,8811	8,76	8,76
Gewässer	**Obstanbau**	-0,0890	12,54	12,54
Siedlungen	**Obstanbau**	1,7184	9,05	9,05
Sonstige Fläche	**Obstanbau**	0,0000	9,88	9,88
Mineralboden N_2O_{direkt} [2)]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**
Wald	**Obstanbau**	0,0000	187,23	487,69
Grünland i.e.S.	**Obstanbau**	0,8663	185,28	486,96
Gehölze	**Obstanbau**	0,0298	187,97	487,96
Terr. Feuchtgebiete	**Obstanbau**	2,2604	188,84	488,29
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2)]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**
Wald	**Obstanbau**	0,0000	187,23	487,69
Grünland i.e.S.	**Obstanbau**	0,1949	185,28	486,96
Gehölze	**Obstanbau**	0,0067	187,97	487,96
Terr. Feuchtgebiete	**Obstanbau**	0,5086	188,84	488,29
Biomasse [3)]		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**
Wald	**Obstanbau**	0,0000	17,68	17,68
$Acker_{annuell}$	**Obstanbau**	0,6122	11,71	11,71
Hopfen	**Obstanbau**	0,5872	12,23	12,23
Weinbau	**Obstanbau**	0,6739	11,87	11,87
Kurzumtriebsplantagen	**Obstanbau**	-1,4531	7,12	8,77
Baumschulen	**Obstanbau**	-0,0234	14,96	14,96
Weihnachtsbaumkulturen	**Obstanbau**	0,1561	18,49	18,49
Grünland i.e.S.	**Obstanbau**	0,4879	13,05	13,05
Gehölze	**Obstanbau**	-6,9257	44,44	45,13
Terr. Feuchtgebiete	**Obstanbau**	-13,6631	30,32	31,26
Gewässer	**Obstanbau**	1,1007	14,41	14,41
Torfabbau	**Obstanbau**	0,0000	14,41	14,41
Siedlungen	**Obstanbau**	-1,0667	35,81	36,94
Sonstige Fläche	**Obstanbau**	0,0000	14,41	14,41
Tote organische Substanz [3)]		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**
Wald	**Obstanbau**	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 399: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Sonstige Ackerkulturenperennierend (Summe aus Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen) Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

Baumschulen		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	8,06	8,06
$Acker_{annuell}$	Baumschulen	0,0346	5,69	5,69
Hopfen	Baumschulen	0,0000	7,84	7,84
Weinbau	Baumschulen	0,6151	9,41	9,41
Obstbau	Baumschulen	-0,3523	8,46	8,46
Kurzumtriebsplantagen	Baumschulen	0,0000	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen	Baumschulen	0,0000	7,84	7,84
Grünland i.e.S.	Baumschulen	-0,9905	4,93	4,93
Gehölze	Baumschulen	0,0000	7,84	7,84
Terr. Feuchtgebiete	Baumschulen	-2,2414	8,56	8,56
Gewässer	Baumschulen	-0,0410	11,09	11,09
Siedlungen	Baumschulen	1,2491	8,11	8,11
Sonstige Fläche	Baumschulen	0,0000	8,55	8,55
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	Baumschulen	1,4166	185,17	486,92
Gehölze	Baumschulen	0,0000	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	Baumschulen	2,6934	188,80	488,28
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	Baumschulen	0,3187	185,17	486,92
Gehölze	Baumschulen	0,0000	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	Baumschulen	0,6060	188,80	488,28
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	18,15	18,15
$Acker_{annuell}$	Baumschulen	0,8882	19,91	19,91
Hopfen	Baumschulen	0,0000	20,45	20,45
Weinbau	Baumschulen	0,9177	19,41	19,41
Obstbau	Baumschulen	-0,3040	14,96	14,96
Kurzumtriebsplantagen	Baumschulen	0,0000	8,47	9,70
Weihnachtsbaumkulturen	Baumschulen	0,0000	19,47	19,47
Grünland i.e.S.	Baumschulen	4,9894	20,24	20,24
Gehölze	Baumschulen	0,0000	41,50	42,14
Terr. Feuchtgebiete	Baumschulen	-11,9165	27,94	28,70
Gewässer	Baumschulen	1,9359	23,39	23,39
Torfabbau	Baumschulen	0,0000	23,39	23,39
Siedlungen	Baumschulen	-2,7652	32,79	33,76
Sonstige Fläche	Baumschulen	0,0000	23,39	23,39
Tote organische Substanz [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 400 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus den Weihnachtsbaumkulturen Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

Weihnachtbaumkulturen		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	8,06	8,06
$Acker_{annuell}$	Weihnachtbaumkulturen	0,0346	5,69	5,69
Hopfen	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	7,84	7,84
Weinbau	Weihnachtbaumkulturen	0,6151	9,41	9,41
Obstbau	Weihnachtbaumkulturen	-0,3523	8,46	8,46
Baumschulen	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	7,84	7,84
Grünland i.e.S.	Weihnachtbaumkulturen	-0,9905	4,93	4,93
Gehölze	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	7,84	7,84
Terr. Feuchtgebiete	Weihnachtbaumkulturen	-2,2414	8,56	8,56
Gewässer	Weihnachtbaumkulturen	-0,0410	11,09	11,09
Siedlungen	Weihnachtbaumkulturen	1,2491	8,11	8,11
Sonstige Fläche	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	8,55	8,55
Mineralboden N_2O_{direkt} [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	Weihnachtbaumkulturen	14,897	185,17	486,92
Gehölze	Weihnachtbaumkulturen	0,1225	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	188,80	488,28
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	Weihnachtbaumkulturen	0,3352	185,17	486,92
Gehölze	Weihnachtbaumkulturen	0,0276	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	188,80	488,28
Biomasse [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	20,94	20,94
$Acker_{annuell}$	Weihnachtbaumkulturen	22,035	26,75	26,75
Hopfen	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	27,63	27,63
Weinbau	Weihnachtbaumkulturen	22,074	25,79	25,79
Obstbau	Weihnachtbaumkulturen	22,036	18,49	18,49
Baumschulen	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	9,36	10,62
Weihnachtsbaumkulturen	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	19,47	19,47
Grünland i.e.S.	Weihnachtbaumkulturen	20,152	27,02	27,02
Gehölze	Weihnachtbaumkulturen	-25,983	44,09	44,76
Terr. Feuchtgebiete	Weihnachtbaumkulturen	22,213	31,65	32,49
Gewässer	Weihnachtbaumkulturen	22,110	32,85	32,85
Torfabbau	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	32,85	32,85
Siedlungen	Weihnachtbaumkulturen	22,043	36,14	37,20
Sonstige Fläche	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	32,85	32,85
Tote organische Substanz [3)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Weihnachtbaumkulturen	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 401 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus den Kurzumtriebsplantagen Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2020

Kurzumtriebsplantagen		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	8,06	8,06
$Acker_{annuell}$	Kurzumtriebsplantagen	0,0282	5,69	5,69
Hopfen	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	7,84	7,84
Weinbau	Kurzumtriebsplantagen	0,6795	9,41	9,41
Obstbau	Kurzumtriebsplantagen	-0,3694	8,46	8,46
Baumschulen	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	7,84	7,84
Grünland i.e.S.	Kurzumtriebsplantagen	-1,0345	4,93	4,93
Gehölze	Kurzumtriebsplantagen	-0,0629	7,84	7,84
Terr. Feuchtgebiete	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	8,56	8,56
Gewässer	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	11,09	11,09
Siedlungen	Kurzumtriebsplantagen	1,2549	8,11	8,11
Sonstige Fläche	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	8,55	8,55
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	Kurzumtriebsplantagen	1,4709	185,17	486,92
Gehölze	Kurzumtriebsplantagen	0,0984	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	188,80	488,28
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	187,14	487,65
Grünland i.e.S.	Kurzumtriebsplantagen	0,3309	185,17	486,92
Gehölze	Kurzumtriebsplantagen	0,0221	187,86	487,92
Terr. Feuchtgebiete	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	188,80	488,28
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	9,57	10,60
$Acker_{annuell}$	Kurzumtriebsplantagen	-4,6880	7,68	9,73
Hopfen	Kurzumtriebsplantagen	4,0746	7,77	9,83
Weinbau	Kurzumtriebsplantagen	-16,2984	7,67	9,67
Obstbau	Kurzumtriebsplantagen	-4,3403	7,12	8,77
Baumschulen	Kurzumtriebsplantagen	-4,7982	8,47	9,70
Weihnachtsbaumkulturen	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	9,36	10,62
Grünland i.e.S.	Kurzumtriebsplantagen	-4,4018	7,85	9,85
Gehölze	Kurzumtriebsplantagen	0,0801	27,89	28,49
Terr. Feuchtgebiete	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	14,71	15,77
Gewässer	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	8,12	10,30
Torfabbau	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	8,12	10,30
Siedlungen	Kurzumtriebsplantagen	-2,4448	18,82	19,80
Sonstige Fläche	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	8,12	10,30
Tote organische Substanz [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	6,96	6,96

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 402: Implizite Emissionsfaktoren für organischen Böden unter Ackerland [t CO2-Eq. ha^{-1} a^{-1}] sowie deren Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) für das Jahr 2020

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Acker$_{annuell}$	**CO_2**	34,23	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	0,43	57,08	91,29
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Hopfen	**CO_2**	32,55	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	0,60	57,08	91,29
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Weinanbau	**CO_2**	31,37	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	0,21	57,08	91,29
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Obstanbau	**CO_2**	33,29	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	0,37	57,08	91,29
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Baumschulen	**CO_2**	34,70	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	0,33	57,08	91,29
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Weihnachtsbaum-kulturen	**CO_2**	33,96	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	0,39	57,08	91,29
Organischer Boden [1)]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Kurzumtriebsplantagen	**CO_2**	31,91	43,20	19,64
	N_2O [2)]	IE	83,78	264,86
	CH_4	1,49	57,08	91,29

1) Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

2) wird unter 3.D.a.6 berichtet (Sektor Landwirtschaft)

Die Berechnungen sind für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2020 räumlich und zeitlich konsistent und vollständig.

6.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.B)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE-Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik, siehe Kapitel 6.3) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentationen finden sich in der Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Die folgenden Tabellen zeigen einen innereuropäischen Vergleich impliziter Emissionsfaktoren (IEF) für unterschiedliche Pools. Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus den Submissionen 2021 des Klimasekretariats verwendet (UNFCCC NIR Submission 2021 - Inventurjahr 2019, (UNFCCC)). Werte für Deutschland 2020 stammen aus der aktuellen Submission 2020. Der Vergleich zeigt, insbesondere unter Berücksichtigung der großen Unsicherheiten und Streuung der berichteten Werte (siehe Kapitel 6.5.3), für keinen der verglichenen Pools implizite Emissionsfaktoren (IEF), die einen eindeutigen Ausreißer darstellen. Alle EF sind unauffällig und finden eine Entsprechung in absoluter Größe und Tendenz, mit denen diverser mitteleuropäischen Nachbarländer.

Tabelle 403: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	0,00	-0,03	-3,09	NO	NO	NO	NO
Dänemark	0,00	0,13	-0,17	0,18	NO	NO	NO
Frankreich	0,00	-0,28	-4,43	-0,10	NE	-0,03	NE
Großbritannien	0,00	0,08	NO,IE	0,08	NO	0,11	NO
Niederlande	NA	-0,23	-7,68	-0,16	0,37	0,41	0,53
Österreich	0,00	-0,01	-1,22	0,05	NO	NO	NO
Polen	0,03	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	0,21	0,08	-1,87	0,08	0,09	0,20	0,23
Tschechische Republik	0,00	-0,21	-2,05	-0,16	0,17	NO	NO
Deutschland 2019	0,0005	-0,1583	NO	-0,1465	0,2542	-0,4413	0,1378
Deutschland 2020	-0,0003	-0,2042	NO	-0,1639	-0,0995	-1,0500	0,1330

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 404: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	0,00	-0,09	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,08	-0,55	NO,NA	NO	NO	NO
Frankreich	NE	-0,02	-0,47	NE	NE	NE	NE
Großbritannien	NO,NA	NO,IE	NO	IE	NO	NO,IE	NO
Niederlande	NA	-0,03	-2,35	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,03	-0,68	NO	NO	NO	NO
Polen	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	0,00	-0,53	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	0,00	-0,05	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2020	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 405: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	-0,04	-1,51	-2,26	-1,52	-2,63	NO	NO
Dänemark	0,00	-0,08	-0,34	NO,IE	-1,77	NO	NO
Frankreich	0,13	-1,09	-1,24	-1,17	NO	0,06	NE
Großbritannien	0,33	-1,46	-2,79	-1,47	NO	0,72	NO
Niederlande	NA	-0,53	0,19	-0,55	-0,98	-0,24	1,96
Österreich	0,02	-0,98	-0,79	-0,99	NO	NO	NO
Polen	0,00	-0,16	NO	-1,29	NO	NO	NO
Schweiz	0,20	-0,22	-0,83	-0,35	0,44	1,91	2,55
Tschechische Republik	-0,01	-0,26	-0,25	-0,47	NO	0,06	NO
Deutschland 2019	-0,0009	-0,977	-0,084	-1,095	-0,287	1,224	0,277
Deutschland 2020	-0,001	-0,986	NO	-1,100	-0,311	1,184	0,277

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 406: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	-10,00	NO	NO	NO	NO	NO	-10,00
Dänemark	-7,55	-0,87	IE	-5,00	IE	NO	-7,55
Frankreich	IE	NO	NO	NO	NO	NO	IE
Großbritannien	-8,18	-5,14	-8,18	-5,00	NO	NO	-8,18
Niederlande	-3,59	-3,71	-3,31	-3,72	-3,58	-3,81	-3,59
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-1,00	1,00	NO	-1,00	NO	-1,00	-1,00
Schweiz	-9,52	-8,95	-9,52	-9,52	-9,52	-1,36	-9,52
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	-9.337	-8.899	-9.511	-8.8866	-9.0809	-9.2354	-9.337
Deutschland 2020	-9,425	-9,160	NO	-9,147	-9,408	-9,469	-9,425

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

6.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.B)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2020 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Ackerland hatten folgende Maßnahmen:

- Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten bezüglich der Ausweisung von Landnutzungen und Landnutzungsänderungen sowie Anpassung der Landnutzungsmatrix über die Zeit(s. Kapitel 6.3.1ff)

- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus der Phytomasse für mehrjährige Gehölzpflanzen außerhalb des Waldes (Kapitel 6.1.2.3.4ff)
- Neue Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)
- Korrektur des Wertes für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.8.2.4)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Ackerland in Tabelle 407 (Flächen) und Tabelle 408 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst wird (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Bemerkenswerte Unterschiede bezüglich der THG-Emissionen sind, die gesamte Zeitreihe betreffend, hauptsächlich für CO_2 festzustellen. Diese sind im Wesentlichen zurückzuführen auf die neue Methode zur Bestimmung der perennierenden Biomasse außerhalb des Waldes.

Tabelle 407: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Ackerlandkategorie

CRF-Nr	Area [kha]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.B	Crop-land	2021	13.592,45	13.606,81	13.621,22	13.240,07	12.967,52	12.751,72	12.718,86	12.685,99	12.653,13	12.620,28
		2022	13.589,17	13.603,44	13.617,69	13.236,64	12.964,08	12.748,32	12.717,42	12.686,51	12.655,61	12.624,71
		Diff. absolut	-3,28	-3,37	-3,54	-3,42	-3,44	-3,40	-1,44	0,52	2,47	4,44
		in %	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,01	0,00	0,02	0,04

Tabelle 408: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO2-eq] aus der Kategorie Ackerland der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr		THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.B	Crop-land	CO_2	2021	13.511,10	13.295,57	13.091,81	14.716,11	14.644,41	16.252,34	16.436,05	16.305,24	16.542,19	16.336,74
			2022	13.762,36	13.942,36	13.723,43	15.879,71	15.182,25	16.777,70	16.876,37	16.755,89	16.945,31	16.748,90
			Differenz	251,25	646,79	631,62	1.163,60	537,84	525,36	440,32	450,66	403,12	412,15
			in %	1,86	4,86	4,82	7,91	3,67	3,23	2,68	2,76	2,44	2,52
		CH_4	2021	146,13	134,95	124,25	144,81	141,66	152,93	139,94	137,78	136,08	135,19
			2022	145,74	134,81	124,21	129,15	131,67	138,47	139,32	138,72	135,92	131,80
			Differenz	-0,39	-0,14	-0,04	-15,66	-9,99	-14,46	-0,61	0,94	-0,16	-3,39
			in %	-0,27	-0,10	-0,03	-10,81	-7,05	-9,46	-0,44	0,68	-0,12	-2,51
		N_2O	2021	233,76	229,29	227,27	380,28	418,51	584,35	597,02	611,02	625,83	642,07
			2022	233,76	229,32	227,35	381,26	419,47	584,71	594,62	605,94	618,03	631,35
			Differenz	0,00	0,03	0,08	0,99	0,96	0,35	-2,40	-5,08	-7,80	-10,72
			in %	0,00	0,01	0,04	0,26	0,23	0,06	-0,40	-0,83	-1,25	-1,67

6.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.B)

Die Regionalisierung der Kohlenstoffvorräte von Mineralböden unter Ackerland, in Abhängigkeit von standortkundlichen Parametern, ist in Arbeit und wird kurzfristig implementiert werden. Deutschland wird damit die entsprechende Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020 umsetzen (ARR 2020: L.8, Table 5)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.6 Grünland (4.C)

6.6.1 Beschreibung der Kategorie (4.C)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**4 C, Grassland**		**CO2**	**26.383,5**	**2,1%**	**18.068,7**	**2,5%**	**-31,5%**
-/-/T2	**4 C, Grassland**		**CH4**	**872,8**	**0,1%**	**962,6**	**0,1%**	**10,3%**
-/-	4 C, Grassland		N2O	66,9	0,0%	122,5	0,0%	83,1%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	RS/NS	CS
N_2O	Tier 2	RS/NS	CS/D
CH_4	Tier 2	RS/NS	CS

Die Kategorie *Grünland* (4.C) ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe sowie für CH_4-Emissionen nach der Approach-2-Analyse.

Im Jahre 2020 betrugen die anthropogen bedingten THG-Nettoemissionen aus dem Grünland 19.153,8 kt CO_2-Eq. (95 %-Konfidenzintervall: 10.784,4 kt CO_2-Eq. ≙ 43,7 % - 24.153,4 kt CO_2-Eq. ≙ 26,1%). Durch die Entwässerung organischer Grünlandböden wurden 26.552,6 kt CO_2, 962,6 kt CO_2-Eq. Methan sowie 28,1 kt CO_2-Eq. Lachgas freigesetzt. Die Biomasse (-131,8 kt CO_2) als auch die Mineralböden (-8.352,1 kt CO_2) fungierten im Grünlandsektor als Kohlenstoffsenken.

Diese Emissionen bilden die Summe aus den Unterkategorien Grünland i.e.S und Gehölze, die sich bezüglich ihrer Emissionen sowohl quantitativ, wie auch qualitativ deutlich unterscheiden. So verdeutlichen Tabelle 409 und die Abbildung 71 und Abbildung 72, dass Grünland im engeren Sinne eine deutliche CO_2-Quelle ist, deren absolute Größe von 21.382,2 kt CO_2-Eq. von den Emissionen aus den organischen Böden dominiert wird (26.340,7 kt CO_2-Eq. ≙ 123,2 %), wobei der Anteil der CO_2-Emissionen (96,5 %) den des Methan (3,5 %) bei weitem übertrifft. Während die Biomasse ebenfalls als Quelle fungiert und einen Anteil von 9,6% an den Brutto-Emissionen in Höhe von 30.204,5 kt CO_2-Eq. beiträgt, stellen die Mineralböden unter Grünland i.e.S. eine anhaltende Senke für Kohlenstoff dar (Tabelle 409). Sie reduzieren die Bruttoemissionen der Unterkategorie Grünland i.e.S. um 29,2 %.

Tabelle 409: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus dem Grünland 2020, unterschieden nach Unterkategorien. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Grünland i.e.S. Emissionen 2019						
Grünland i.e.S. Emissionen 2020						
Pool	THG	[kt CO_2-Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Grünland i.e.S.$_{total}$ 1)		**21.382,2**	11.097,7	27.510,8	48,10	28,66
Mineralboden	**CO_2 2)**	**-8.822,3**	-8.663,7	-8.981,0	1,80	1,80
	N_2O_{direkt} 3)	**1,00**	0,25	3,01	74,73	200,49
	$N_2O_{indirekt}$ 4)	**0,23**	0,00	0,87	99,99	286,06
Organischer Boden	**CO_2 2)**	**26.340,7**	6.297,1	35.696,8	76,09	35,52
	N_2O 5)	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 6)	**959,0**	477,77	1.329,53	50,18	370,36
Biomasse	**CO_2 2)**	**2.903,5**	1.800,3	4.025,2	38,00	38,63
Tote organische Substanz	**CO_2 2)**	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00

Pool	THG	Gehölze Emissionen 2020 [kt CO_2-Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
$Gehölze_{total}$ 7)		**-2.228,4**	-1.704,3	-2.766,0	23,52	24,13
Mineralboden	**CO_2 2)**	**470,21**	448,91	491,51	4,53	4,53
	N_2O_{direkt} 3)	**76,05**	23,73	224,94	68,80	195,78
	$N_2O_{indirekt}$ 4)	**17,11**	0,00	65,13	99,99	280,62
Organischer Boden	**CO_2 2)**	**211,88**	182,71	245,30	13,77	15,78
	N_2O 3)	**28,07**	7,15	48,56	74,52	72,98
	CH_4 6)	**3,60**	2,01	6,03	44,03	67,75
Biomasse	**CO_2 2)**	**-3.035,3**	-1.976,2	-4.110,9	34,89	35,44
Tote organische Substanz	**CO_2 2)**	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00

1) Teilsummen der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.C, 4.(II).C, 4.(IV).2

2) Teilsumme der Emissionen CRF-Tabelle 4.C

3) CRF-Tabelle 4.(III).C

4) Die kategoriespezifischen indirekten N_2O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Subkategorien

5) CRF-Tabelle 3.D.a.6

6) CRF-Tabelle 4.(II).C

7) Teilsummen der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.C, 4.(II).C, 4.(IV).2, sowie Summe aus 4.(III).C

Der Verlauf der Zeitreihe der Gesamtemissionen von Grünland i.e.S. weist 2020 Emissionen auf, die um -21,2 % gegenüber dem Basisjahr abgenommen haben. Der Verlauf der Zeitreihe der Gesamtemissionen wird bezüglich der absoluten Höhe dominiert von den Emissionen aus den organischen Böden. Allerdings nehmen Emissionen aus der Biomasse und den Mineralböden deutlichen Einfluss auf den Verlauf, insbesondere die Mineralböden auf den qualitativen Trend der Kurve. Die Mineralböden wirken als Senke. Diese Senkenleistung zeigt im Zeitverlauf einen hochsignifikant negativen Trend; sie hat gegenüber dem Basisjahr um 355 % zugenommen.

Die Zunahme der Amplitudenausschläge und der veränderte Trendverlauf vom Jahr 2000 an sind überwiegend auf unterschiedliche Datengrundlagen zurückzuführen. Beginnend mit dem Berichtsjahr 2000 können die Flächendaten des B-DLM des ATKIS dem Nachweis von Flächen und Landnutzung zugrunde gelegt werden. Diese weisen eine sehr viel höhere räumliche und zeitliche Auflösung auf, als die von CORINE Landcover (CLC), die für die Jahre vor 2000 zur Ausweisung der Flächennutzung herangezogen werden müssen (Kapitel 6.3.2.2). Obschon die ältere Datenreihe des CLC mittels des "Overlap Approach" (2006 IPCC Guidelines (Vol. 1 Ch. 5.3.3) an die neuere, höher auflösende Datenreihe des Basis-DLM angeglichen wurde, führt der Wechsel der Datengrundlage, vom Jahr 2000 an, zu deutlich mehr detektierbaren Landnutzungsänderungen gegenüber der Periode von 1990 - 2000, insbesondere von Ackerland zu Grünland und zwischen den Subkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze.

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen, insbesondere deutliche Änderungen, haben ihre Ursache vor allem in den periodischen Erhebungsterminen der Flächendaten (siehe Kapitel 6.3.5). Der Erfassung von Landnutzungsänderungen anhand räumlich expliziter Daten lagen Datensätze der Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 zugrunde (vergl. Kap. Kapitel 6.3). Dies gilt insbesondere auch für die Unterkategorie Gehölze.

Abbildung 71: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2020, dargestellt nach Unterkategorien

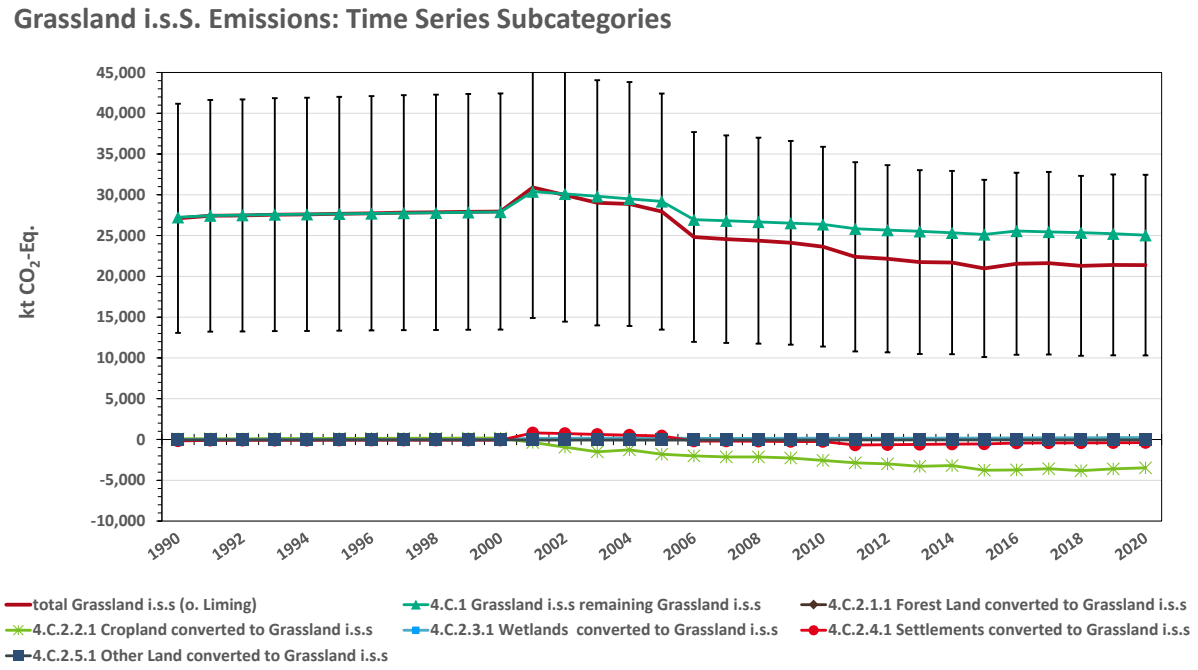
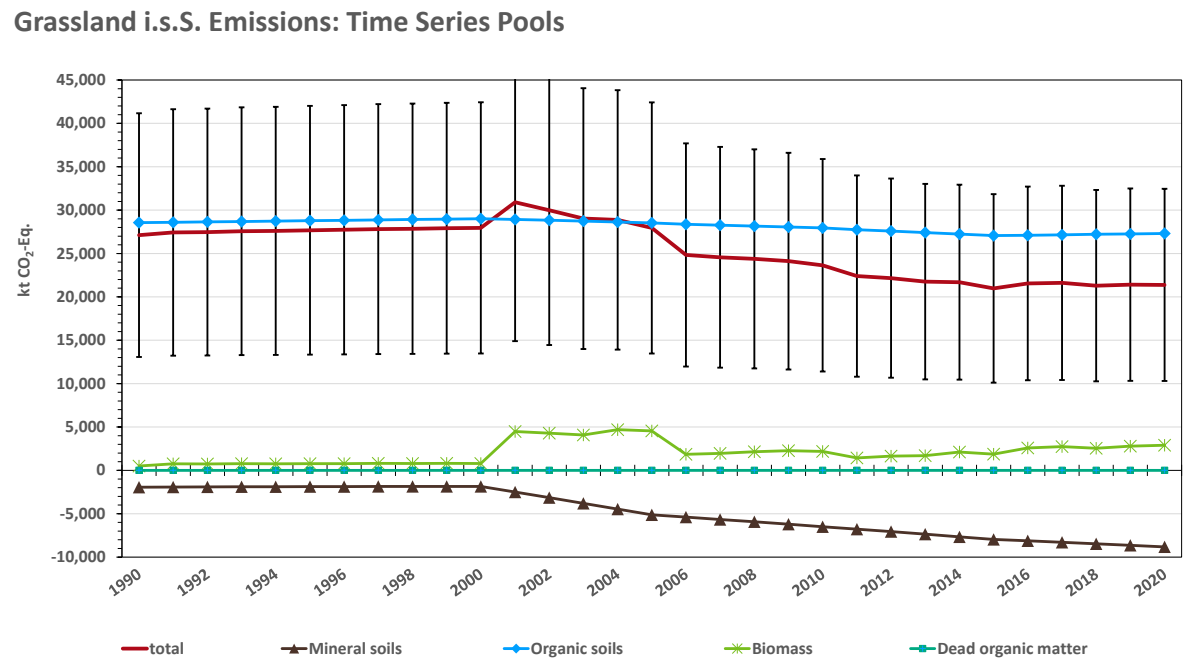


Abbildung 72: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2020, dargestellt nach Pools



In der Subkategorie Gehölze werden die Nettoemissionen vom Pool Biomasse dominiert. Dieser fungierte 2020 mit -3.035,3 kt CO_2-Eq. als Senke. Diese überkompensiert die positiven Emissionen aus den organischen (243,5 kt CO_2-Eq.) und mineralischen Böden (563,4 kt CO_2-Eq.), sodass die Unterkategorie Gehölze 2020 als Nettokohlenstoffsenke fungiert (-2.228,4 kt CO_2-Eq.; Tabelle 409 sowie Abbildung 73 und Abbildung 74).

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen in Abbildung 73 und Abbildung 74 verdeutlichen, dass aufgrund der andauernden Nutzung der Biomasse sowie aufgrund von

Landnutzungsänderungen von und zur Unterkategorie Gehölze, diese Subkategorie durch den erheblichen Kohlenstoffvorrat in der Biomasse sehr dynamisch ist und geprägt von der dem Modell zugrunde liegenden 12-jährigen Umtriebszeit für Hecken und Feldgehölze (vergl. Kapitel 6.1.2.3.6).

Abbildung 73: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990–2020, dargestellt nach Unterkategorien

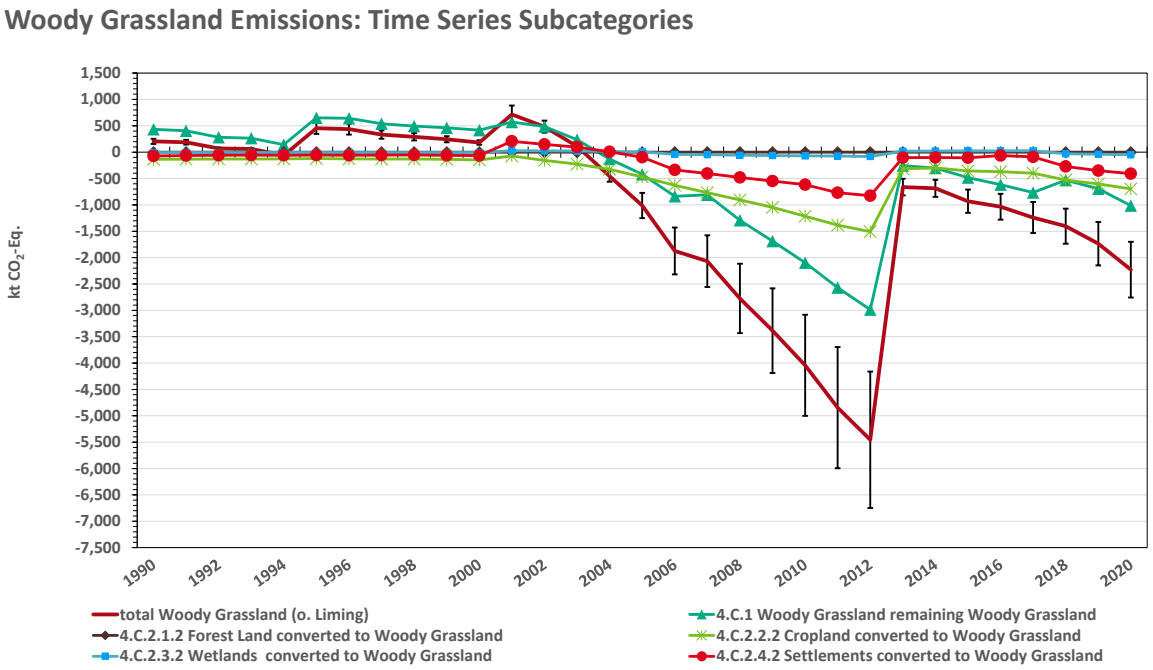
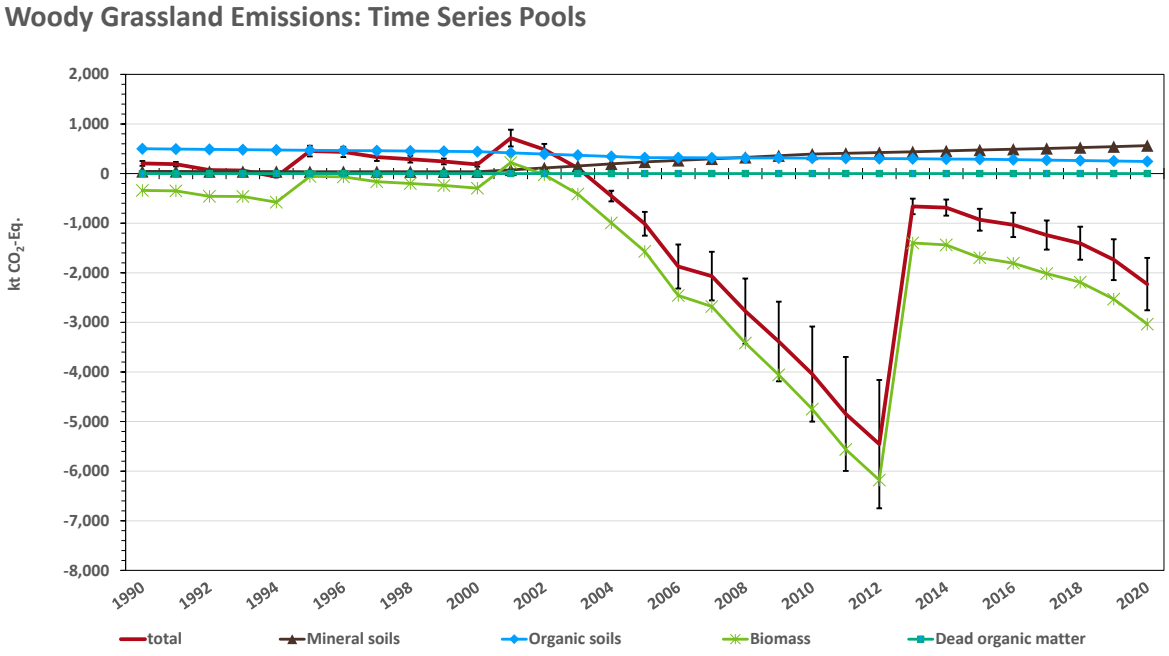


Abbildung 74: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990-2020, dargestellt nach Pools



6.6.2 Methodische Aspekte (4.C)

6.6.2.1 Datenquellen

Es wurden folgende Datenquellen genutzt:

- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3b),
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.2.1, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte; (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1),
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.1.2, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei,– Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen); (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1),
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006b),
- „Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung –DüV)“ (Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist)(Bundesgesetzblatt, 2012),
- Zwischenbericht Forschungsprojekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Wäldern“ (Pöpken, 2011).
- (Drexler et al., 2021): Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone.Regional Environmental Change (2021) 21:74; https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8; Springer
- (Jacobs et al., 2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung; Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 S. Thünen Report 64; Braunschweig. DOI:10.3220/REP1542818391000

6.6.2.2 Biomasse

In der Kategorie Grünland wird der Pool Phytomasse weiter untergliedert nach Ausprägung der Pflanzen in (vergl. Kapitel 6.2.3 und Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1)

- krautige Pflanzen (Subkategorie Grünland i.e.S.)
- mehrjährige Gehölzpflanzen in Hecken und Feldgehölzen (Subkategorie Gehölze)

Die Methodik zur Bestimmung der THG-Emissionen aus der pflanzlichen Biomasse mehrjähriger Hecken- und Feldgehölzpflanzen in der Subkategorie Gehölze (gra2) wurde, beginnend mit dieser Submission, grundlegend umgestellt; es werden nun mehr die Wachstumsstadien der Pflanzen in Abhängigkeit vom Alter der Kultur, deren Bewirtschaftungsform (Umtriebszeiten) zeitgenau modelliert, damit die Emissionen entsprechend der Vorgaben der IPCC Guidelines 2006 in dem Jahr berichtet werden können, in dem sie anfallen. Die Methoden und Unterstellungen zur Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse der Gehölzpflanzen sind in Kapitel 6.1.2.3ff beschrieben, die spezifischen Methoden und die Herleitung der Emissionsfaktoren für die Gehölze in Kapitel 6.1.2.3.6.

Für die Subkategorie Grünland i.e.S. wurde ein zeitlich konstanter Kohlenstoffvorrat für die krautige Biomasse ermittelt (Kapitel 6.1.2.3.3). In der Verbleibkategorie Grünland i.e.S. wird ein dynamisches Gleichgewicht für die Phytomasse unterstellt; folglich treten keine Emissionen auf. Die entsprechenden Felder im Tabellenwerk sind mit dem Notationsschlüssel NA versehen (s.

Kap. 6.1.2.3.1). Die pflanzliche Biomasse der Subkategorie Gehölze hingegen wird für jedes Berichtsjahr berechnet (Kapitel 6.1.2.3ff und Kapitel 6.1.2.3.6). Flächenumwidmungen zwischen den einzelnen Grünland-Subkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt und in CRF- 4.C explizit ausgewiesen. Die Flächenänderungen zwischen annuellen und perennierenden Pflanzen können räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen werden. Die Berechnung erfolgt nach der in Kapitel 6.1.2.3.1 und Kapitel 6.1.2.3.2 beschriebenen Gain-Loss Methode (2006 IPCC Guidelines).

Felder für tote organische Substanz der Kategorie Grünland werden im Tabellenwerk mit IE gekennzeichnet, da im Modell jeweils die vollständige Biomasse verrechnet wird.

6.6.2.3 Mineralische Böden

Für Flächen unter verbleibender Nutzung wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden ausgewiesen. Die Konstanz der Kohlenstoffvorräte ist mit Ergebnissen von 42 deutschen Bodendauerbeobachtungsflächen belegt (Höper and Schäfer (2012), Fortmann et al. (2012) und BLfU (2011)). Die Langzeitbeobachtungen umfassen einen Zeitraum von 20 - 25 Jahren. Der Großteil der Untersuchungsflächen zeigte während dieses Zeitraumes keine Veränderungen in den Kohlenstoffvorräten der Mineralböden; einige der Böden zeigten geringe Abnahmen, andere leichte Zunahmen, absolut in etwa gleichem Umfang. Es gibt keine Hinweise auf deutliche Änderungen in der Bewirtschaftung von Dauergrünland seit 1990, die sich auf die Kohlenstoffvorräte in Mineralböden auswirken könnten. In der CRF-Tabelle 4.C.1 sind die Felder „Kohlenstoffvorratsänderung in Mineralböden“ der Verbleibkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze daher mit NA gekennzeichnet (s.Kapitel 6.5.2.3.2).

Die Berechnung der CO_2-Emissionen infolge der Umwandlung von Landflächen in Grünland i.e.S. bzw. Gehölze ist in Kapitel 6.1.2.1, die Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten auch in Tabelle 410 und Tabelle 412 in Kapitel 6.6.3 beschrieben. Die Emissionen der Verbleibkategorien werden in der CRF-Tabelle 4.C.1, die Emissionen infolge von Landnutzungsänderung in den CRF-Tabellen 4.C.2.1-4.C.2.5 ausgewiesen. Die Lachgasemissionen aus Mineralböden werden im Zahlenwerk in den CRF-Tabellen 4(III).C und 4 (IV).2 eingetragen.

6.6.2.4 Organische Böden

In der Landnutzungskategorie Grünland werden CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus organischen Böden berichtet; Lachgasemissionen jedoch nur für die Subkategorie Gehölze. N_2O-Emissionen aus organischen Böden unter Grünland i.e.S. werden im Sektor „Landwirtschaft“ in der CRF-Tabelle 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols berichtet (siehe Kapitel 6.5.2). Ausführungen zu den Flächenunterschieden bezüglich des Grünlands im LULUCF-Sektor und den in der CRF-Tabelle 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols“ des Landwirtschaftssektors aufgeführten Werten finden sich in Kapitel 6.1.2.2.1. Die Methoden zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden sowie die Herleitung der Emissionsfaktoren sind in Kapitel 6.1.2.2 beschrieben.

Die jährlichen Emissionen nach Landnutzungsänderung zu Grünland i.e.S. werden wie die Emissionen aus organischen Böden der Unterkategorie Grünland i.e.S. unter verbleibender Nutzung berechnet. Gleiches gilt für die Emissionen aus organischen Böden nach Landnutzungsänderung zu Gehölzen; sie werden methodisch wie Emissionen aus Gehölzen unter verbleibender Nutzung berechnet. Die Emissionen der Verbleibkategorien werden in der CRF-Tabelle 4.C.1, die Emissionen infolge von Landnutzungsänderung in CRF-Tabellen 4.C.2.1-4.C.2.5 ausgewiesen. Die Methanemissionen aus organischen Böden und aus Draingräben sowie die Lachgasemissionen aus der Unterkategorie Gehölze werden in der CRF-Tabelle 4(II).C präsentiert.

6.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.C)

In Tabelle 410 bis Tabelle 413 sind die Unsicherheiten bezüglich der Emissionsfaktoren für die Unterkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze dargestellt. Die Verteilungsfunktionen sind hauptsächlich normal, in einigen Fällen lognormal bzw. und triangular verteilt; sie werden durch die obere und untere Schranke charakterisiert. Die Unsicherheiten der Quellgruppe Mineralböden beider Unterkategorien, für die auf Basis der Bodeninventuren ermittelten impliziten Emissionsfaktoren, liegen in der gleichen, einstelligen Größenordnung. Die Unsicherheiten der Biomasse, insbesondere die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in Gehölzen, sind deutlich größer. Diese spiegeln die große Variationsbreite von derartigen Gehölzflächen in Deutschland wieder. Die höhere Unsicherheit der EF für Methan und Lachgas aus organischen Böden beruht auf deren extrem großer Variabilität bei den Geländemessungen und dem Umstand, dass beim Methan auch negative Emissionen auftreten können (s. Kapitel 6.1.2.2.2).

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten sind normalverteilt, mit Werten für die Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls zwischen 0,07-196,0 %. Auch hier ist die Unsicherheit abhängig von der Stichprobengröße, dem Flächenanteil. Flächengewichtet beträgt die Gesamtunsicherheit der Aktivitätsdaten in der Grünlandkategorie 0,069 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Grünland beträgt 43,7 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 26,1 % [97,5 % -Perzentil], die für die Subkategorien Grünland i.e.S. 48,1 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 28,8 % [97,5 % -Perzentil] %, Gehölze 23,5 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 24,1 % [97,5 % -Perzentil]. In der Subkategorie Grünland i.e.S. leisten die CO_2-Emissionen aus den organischen Böden nicht nur den größten Beitrag zur Gesamtunsicherheit der Subkategorie; sie tragen auch am meisten zur Varianz des Gesamtinventars bei (vergl. Kapitel 6.1.2.10). In der Subkategorie Gehölze ist insbesondere der Biomassepool bemerkbar. Sein Beitrag zur Unsicherheit des Gesamtinventars ist jedoch marginal.

Tabelle 410: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2020 aus Grünland i. e. S.

$Grünland_{i.e.S}$ $Landnutzung_{vor}$ Mineralboden CO_2-C [1)]	$Landnutzung_{nach}$	implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}]	Schranken obere [%]	Schranken untere [%]
Wald	$Grünland_{i.e.S}$	0,0000	5,31	5,31
$Acker_{annuell}$	$Grünland_{i.e.S}$	1,3253	1,98	1,98
Hopfen	$Grünland_{i.e.S}$	1,3025	4,93	4,93
Weinbau	$Grünland_{i.e.S}$	1,9440	6,05	6,05
Obstbau	$Grünland_{i.e.S}$	0,8972	5,84	5,84
Kurzumtriebsplantagen	$Grünland_{i.e.S}$	1,1347	4,93	4,93
Baumschulen	$Grünland_{i.e.S}$	1,3017	4,93	4,93
Weihnachtsbaumkulturen	$Grünland_{i.e.S}$	1,2891	4,93	4,93
Gehölze	$Grünland_{i.e.S}$	1,2626	4,93	4,93
Terr. Feuchtgebiete	$Grünland_{i.e.S}$	-0,7605	6,58	6,58
Gewässer	$Grünland_{i.e.S}$	0,2568	3,11	3,11
Torfabbau	$Grünland_{i.e.S}$	0,0000	0,00	0,00
Siedlungen	$Grünland_{i.e.S}$	2,4983	4,08	4,08
Sonstige Fläche	$Grünland_{i.e.S}$	1,6902	2,87	2,87

Grünland$_{i.e.S}$ Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$	implizite Emissionsfaktoren	Schranken obere	Schranken untere
Biomasse [2]		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} a^{-1}] [1]**	**[%]**
Wald	Grünland$_{i.e.S}$	0,0000	23,70	23,70
Acker$_{annuell}$	Grünland$_{i.e.S}$	0,0200	16,53	16,53
Hopfen	Grünland$_{i.e.S}$	-2,2361	0,00	0,00
Weinbau	Grünland$_{i.e.S}$	0,0715	17,34	17,34
Obstbau	Grünland$_{i.e.S}$	-0,3506	13,05	13,05
Kurzumtriebsplantagen	Grünland$_{i.e.S}$	-3,1924	7,85	9,85
Baumschulen	Grünland$_{i.e.S}$	-1,0153	20,24	20,24
Weihnachtsbaumkulturen	Grünland$_{i.e.S}$	-1,2776	27,02	27,02
Gehölze	Grünland$_{i.e.S}$	-3,3836	51,51	52,31
Terr. Feuchtgebiete	Grünland$_{i.e.S}$	-1,5445	41,42	42,72
Gewässer	Grünland$_{i.e.S}$	0,3769	30,30	30,30
Torfabbau	Grünland$_{i.e.S}$	0,9448	30,30	30,30
Siedlungen	Grünland$_{i.e.S}$	-1,3294	45,71	47,16
Sonstige Fläche	Grünland$_{i.e.S}$	0,1734	30,30	30,30
Tote organische Substanz [2]		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} a^{-1}] [1]**	**[%]**
Wald	Grünland$_{i.e.S}$	0,0000	6,96	6,96

Wald, Acker: jährlich variabel; alle anderen Faktoren sind konstant

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 411: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Grünland i. e. S. im Jahr 2020

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken untere	Schranken obere
Organischer Boden [1]		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Grünland i. e. S.	**CO_2**	27,6752	89,18	41,62
Grünland i. e. S.	**CH_4**	1,0076	59,89	442,02
Grünland i. e. S.	**N_2O**	3,31	93,48	382,61

1) Berechnung jährlich; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 412: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2020 aus Gehölzflächen

Gehölze $Landnutzung_{vor}$ Mineralboden CO_2-C [1]	$Landnutzung_{nach}$	Emissionsfaktor [t C ha^{-1} a^{-1}]	Schranken obere [%]	 untere [%]
Wald	**Gehölze**	0,0000	8,06	8,06
$Acker_{annuell}$	**Gehölze**	0,0497	5,69	5,69
Hopfen	**Gehölze**	0,0000	7,84	7,84
Weinbau	**Gehölze**	0,6493	9,41	9,41
Obstbau	**Gehölze**	-0,4146	8,46	8,46
Kurzumtriebsplantagen	**Gehölze**	-0,0322	7,84	7,84
Baumschulen	**Gehölze**	-0,0357	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen	**Gehölze**	-0,0105	7,84	7,84
Grünland i. e. S.	**Gehölze**	-1,0525	4,93	4,93
Terr. Feuchtgebiete	**Gehölze**	-1,9850	8,56	8,56
Gewässer	**Gehölze**	-0,0214	11,09	11,09
Torfabbau	**Gehölze**	0,0000	0,00	0,00
Siedlungen	**Gehölze**	1,2164	8,11	8,11
Sonstige Flächen	**Gehölze**	0,3646	8,55	8,55
Mineralboden N_2O_{direkt} [3]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Grünland i. e. S.	**Gehölze**	1,5246	99,99	486,92
Terr. Feuchtgebiete	**Gehölze**	2,3864	99,99	488,28
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ [3]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Grünland i. e. S.	**Gehölze**	0,3430	99,99	486,92
Terr. Feuchtgebiete	**Gehölze**	0,5369	99,99	488,28
Biomasse [2]		[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[%]
Wald	**Gehölze**	0,0000	40,39	41,00
$Acker_{annuell}$	**Gehölze**	3,3148	51,66	52,47
Hopfen	**Gehölze**	0,0000	52,14	52,95
Weinbau	**Gehölze**	0,0268	50,94	51,73
Obstbau	**Gehölze**	2,6955	44,44	45,13
Kurzumtriebsplantagen	**Gehölze**	4,3466	27,89	28,49
Baumschulen	**Gehölze**	3,3518	41,50	42,14
Weihnachtsbaumkulturen	**Gehölze**	3,5330	44,09	44,76
Grünland i. e. S.	**Gehölze**	3,0766	51,51	52,31
Terr. Feuchtgebiete	**Gehölze**	3,7701	41,70	42,42
Gewässer	**Gehölze**	4,9696	54,73	55,58
Torfabbau	**Gehölze**	7,6840	54,73	55,58
Siedlungen	**Gehölze**	2,1783	39,76	40,52
Sonstige Flächen	**Gehölze**	6,5958	54,73	55,58
Tote organische Substanz [2]		[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[%]
Wald	**Gehölze**	0,0000	6,96	6,96

Wald, Acker: jährlich variabel; alle anderen Faktoren sind konstant

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

3) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 413: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Gehölze im Jahr 2020

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden[115]		[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Gehölze	CO_2	9,6566	20,74	24,20
Gehölze	CH_4	0,1639	68,73	106,18
Gehölze	N_2O	1,2793	99,99	117,86

Die Berechnungen sind sowohl für Grünland i.e.S wie für Gehölze für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2020 räumlich und zeitlich konsistent und vollständig.

6.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.C)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE-Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Für eine Einordnung der deutschen Ergebnisse wurden die nationalen IEF der einzelnen Pools mit denen der Nachbarstaaten Deutschlands verglichen. Hierzu wurden die Emissionsfaktoren aus den Submissionen 2021 an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention verwendet; Faktoren für Deutschland 2020 stammen aus der aktuellen Submission 2022. Die folgenden Tabellen zeigen, dass Deutschland, gemessen an den Nachbarländern mit ähnlich intensiver Moornutzung, wie Österreich, Dänemark, die Schweiz oder die Niederlande, einen vergleichbaren IEF für CO_2 aus der Dränage organischer Böden unter Grünlandnutzung verwendet.

In der Kategorie 4.C.1 beziehen sich Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden und Biomasse für Deutschland auf Änderungen zwischen Grünland i.e.S. und Gehölzflächen. Die mittleren Emissionsfaktoren sind sehr niedrig, da nur ein kleiner Flächenanteil betroffen ist. Diese Änderungen werden in anderen Staaten unterschiedlich gehandhabt, so dass die mittleren Emissionsfaktoren zwischen den Staaten nicht direkt vergleichbar sind.

Die Landnutzungsänderung zu Grünland führt in Deutschland zu einer starken Kohlenstoffsenke in Mineralböden des Grünlands (Ausnahme LUC von Terrestrischen Feuchtgebieten bilden eine Quelle); die Werte sind vergleichbar mit denen der meisten Nachbarstaaten in Größenordnung und Trend. Insgesamt liegt der deutsche IEF 2019 etwas über dem Mittel der anderen Staaten.

Auch die deutschen IEF für die Biomasse in den Übergangskategorien finden sich im Reigen der Nachbarländer. Die Streuung der IEF der Biomasse ist allerdings deutlich größer als beim Mineralboden. Ursache hierfür sind die länderspezifischen Kategoriegrenzen, somit die Zusammensetzung der Kategorie (in Deutschland Mischwert aus Grünland i.e.S. und Gehölzflächen). Auffällig ist die starke Veränderung des deutschen IEF der Übergangskategorie Wald zu Grünland gegenüber dem des Vorjahres.

[115] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 414: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	-0,61	-7,25	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-0,05	-0,13	-0,18	NO	NO	NO	NO
Frankreich	0,02	-0,11	-1,36	0,05	NE	0,48	NE
Großbritannien	0,00	-0,09	-0,98	-0,07	NO	0,04	NO
Niederlande	0,01	-0,01	-4,62	0,17	0,52	0,65	0,63
Österreich	NA	-0,56	-1,34	-0,06	NO	NO	NO
Polen	NO	0,18	NO	0,22	NO,IE	NO,IE	NO
Schweiz	NO	0,04	-4,58	0,13	0,49	NO	NO
Tschechische Republik	NO	0,03	-2,80	0,08	0,27	NO	NO
Deutschland 2019	0,005	0,531	-3,358	0,188	0,506	0,163	0,684
Deutschland 2020	-0,018	0,070	NO	0,135	0,369	-0,652	1,688

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 415: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	-0,05	-0,56	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,01	-0,18	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NE	-0,02	-0,16	NE	NE	NE	NE
Großbritannien	NA	-0,01	-0,32	IE	NO	IE,NA	NO
Niederlande	NA	-0,10	-1,86	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,33	-0,85	NO	NO	NO	NO
Polen	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,21	-0,88	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	0,00	-0,12	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	IE	-0,0011	-2,465	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2020	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 416: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	0,18	1,72	-0,79	2,06	-0,31	1,80	NO
Dänemark	NO,IE	0,01	0,20	IE	NO	NO	NO
Frankreich	0,00	0,91	0,03	1,01	NO	1,87	NE
Großbritannien	0,15	0,65	-0,88	0,60	NO,IE	1,62	NO
Niederlande	0,00	0,75	0,54	0,80	0,04	0,60	3,73
Österreich	0,00	0,93	0,82	1,00	NO	NO	NO
Polen	0,00	0,91	NO	1,00	NO	NO	NO
Schweiz	-0,12	0,39	-1,12	0,36	1,87	2,05	1,65
Tschechische Republik	0,02	0,44	-0,08	0,47	NO	0,35	NO
Deutschland 2019	0,008	1,361	0,959	1,271	0,026	2,312	1,380
Deutschland 2020	0,008	1,354	NO	1,271	0,023	2,247	1,377

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 417: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	-1,89	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-5,86	-10,41	-10,41	IE	NO	NO	NO
Frankreich	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-0,60	-2,29	-2,29	NO	NO	NO	NO
Niederlande	-4,09	-3,78	-2,52	-3,82	-3,91	-3,90	-2,07
Österreich	-6,40	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-0,25	-0,25	NO	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
Schweiz	-9,08	-8,90	-7,92	-9,33	-7,84	-1,97	2,96
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	-7,31	-7,93	-9,74	-8,13	-5,97	-7,33	-6,70
Deutschland 2020	-7,39	-7,80	NO	-7,95	-6,47	-7,18	-6,68

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

6.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.C)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2020 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Grünland hatten folgende Maßnahmen:

- Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten bezüglich der Ausweisung von Landnutzungen und Landnutzungsänderungen sowie Anpassung der Landnutzungsmatrix über die Zeit (s. Kapitel 6.3.1 ff)
- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus der Phytomasse für mehrjährige Gehölzpflanzen außerhalb des Waldes (Kapitel 6.1.2.3.4 ff)

- Neue Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)
- Anpassung der Emissionsfaktoren für die Biomasse bei Landnutzungsänderung der Kategorie Gehölze zu Wald (siehe auch Kapitel 6.1.2.3.6)
- Korrektur des Wertes für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.8.2.4)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Grünland in Tabelle 418 (Flächen) und Tabelle 419 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst wird(s. auch Kapitel 6.3 ff).

Die Unterschiede in den CO_2-Emissionen sind im Wesentlichen auf die veränderte Methode zur Bestimmung der Biomasse perennierender Gehölze zurückzuführen.

Tabelle 418: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Grünlandkategorie

CRF-Nr	Area [kha]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.C	Grasland	2021	6.801,27	6.723,20	6.645,09	6.761,19	6.824,96	6.796,21	6.789,88	6.783,53	6.777,17	6.770,80
		2022	6.806,23	6.727,26	6.648,27	6.764,14	6.827,79	6.798,96	6.793,40	6.787,83	6.782,24	6.776,62
		Differenz	4,97	4,06	3,19	2,95	2,83	2,75	3,52	4,30	5,07	5,82
		in %	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09

Tabelle 419: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq] aus der Kategorie Grünland der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr		THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.C	Gras-land	CO_2	2021	26.094,43	26.363,18	26.590,39	22.334,11	19.420,19	17.603,19	17.401,39	17.387,31	16.921,52	17.006,82
			2022	26.383,49	27.186,91	27.185,91	25.931,21	18.542,71	18.966,20	19.437,03	19.297,09	18.812,68	18.590,78
			Differenz	289,07	823,72	595,52	3.597,10	-877,48	1.363,01	2.035,64	1.909,78	1.891,16	1.583,96
			in %	1,11	3,12	2,24	16,11	-4,52	7,74	11,70	10,98	11,18	9,31
		CH_4	2021	1.063,20	1.074,14	1.084,77	1.080,79	1.123,84	1.126,00	1.129,50	1.125,61	1.121,63	1.116,91
			2022	872,79	882,21	891,61	921,76	955,83	966,29	963,12	960,56	960,15	961,01
			Differenz	-190,41	-191,93	-193,16	-159,02	-168,02	-159,70	-166,38	-165,06	-161,48	-155,90
			in %	-17,91	-17,87	-17,81	-14,71	-14,95	-14,18	-14,73	-14,66	-14,40	-13,96
		N_2O	2021	2.020,59	2.034,60	2.048,69	1.983,61	1.953,56	1.894,53	1.887,03	1.877,72	1.867,01	1.855,02
			2022	2.019,92	2.034,07	2.048,18	1.983,19	1.952,94	1.894,04	1.887,99	1.880,78	1.872,80	1.863,82
			Differenz	-0,67	-0,54	-0,50	-0,43	-0,61	-0,49	0,96	3,06	5,79	8,80
			in %	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	0,05	0,16	0,31	0,47

6.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.C)

Die Regionalisierung der Kohlenstoffvorräte von Mineralböden unter Grünland, in Abhängigkeit von standortkundlichen Parametern, ist in Arbeit und wird kurzfristig implementiert werden. Deutschland wird damit die entsprechende Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020 umsetzen (ARR 2020: L.8, Table 5).

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.7 Feuchtgebiete (4.D)

6.7.1 Beschreibung der Kategorie (4.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	**4 D, Wetlands**		**CO2**	**3.705,8**	**0,3%**	**4.452,2**	**0,6%**	**20,1%**
-/-/T2	**4 D, Wetlands**		**CH4**	**335,1**	**0,0%**	**683,7**	**0,1%**	**104,0%**
-/-	4 D, Wetlands		N2O	34,1	0,0%	42,4	0,0%	24,2%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	RS/NS	CS
N_2O	Tier 2	RS/NS	CS
CH_4	Tier 2	RS/NS	CS

Die Kategorie *Feuchtgebiete* ist für CO_2 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend sowie für CH_4 zusätzlich nach der Approach-2-Analyse.

In der Kategorie Feuchtgebiete finden sich für Deutschland im Wesentlichen die Moorstandorte und sonstigen Feuchtgebiete, die keiner der anderen Landnutzungskategorien zuzuordnen sind, im vorliegenden Bericht zusammengefasst unter dem Überbegriff "Terrestrische Feuchtgebiete" (other wetlands), sowie „Gewässer und überflutete Landflächen“ (flooded land), und „Torfabbauflächen“ (peat extraction) zur Gewinnung von Gartenbautorfen.

Die quantifizierte Flächenzuordnung zu den einzelnen Unterkategorien, sowie Ausführungen über die gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) und der 2013 IPCC Wetland Supplements (IPCC et al., 2014b) zu berichtenden Pools und Treibhausgase aus den Verbleib- und Übergangskategorien, finden sich in Kapitel 6.2.4.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für das Jahr 2020 sind in Tabelle 420 und der Verlauf der Emissionen in der Zeit unterschieden nach Kategorien und Unterkategorien in Abbildung 75 und Abbildung 76 dargestellt.

Tabelle 420: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus Feuchtgebieten Deutschlands 2020. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranken der 95 % - Konfidenzintervalle

Pool	THG	terrestrische Feuchtgebiete [kt CO_2-Eq.] Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	[%] 2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Terrestrische Feuchtgebiete$_{total}$		**2.350,2**	1.282,8	3.538,1	45,42	50,55
Mineralboden	CO_2	**-42,55**	-36,20	-48,89	14,91	14,91
	N_2O_{direkt}	NO	NO	NO	NO	NO
	$N_2O_{indirekt}$[1)]	NO	NO	NO	NO	NO
Organischer Boden	CO_2	**2.022,8**	784,12	3.387,5	61,24	67,47
	N_2O	**34,92**	8,71	105,00	75,07	200,65
	CH_4	**452,02**	171,93	814,62	61,96	80,22
Biomasse	CO_2	**-144,62**	-108,50	-181,75	24,97	25,67
Streu/Totholz	CO_2	**27,60**	18,58	36,88	32,66	33,63
Pool	**THG**	**Gewässer [kt CO_2-Eq.] Emission**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**[%] 2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Gewässer$_{total}$		**486,61**	394,20	579,60	18,99	19,11
Mineralboden	CO_2	NO	NO	NO	NO	NO
	N_2O	NO	NO	NO	NO	NO
Organischer Boden	CO_2	NO	NO	NO	NO	NO
	N_2O	NO	NO	NO	NO	NO
	CH_4[2)]	**228,93**	150,14	307,72	34,42	34,42
Biomasse	CO_2	**231,37**	182,20	281,64	21,25	21,73
Streu/Totholz	CO_2	**26,31**	22,62	30,00	14,03	14,03

Pool	THG	Torfabbau [kt CO_2-Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
$Torfabbau_{total}$		**2.341,4**	1.473,3	3.209,5	37,08	37,08
Mineralboden	CO_2	NO	NO	NO	NO	NO
	N_2O_{direkt}	NO	NO	NO	NO	NO
Organischer Boden	CO_2	**2.302,6**	1.434,6	3.170,6	37,70	37,70
	N_2O	**7,44**	3,65	11,23	50,89	50,89
	CH_4	**2,75**	1,13	5,06	58,76	84,20
Biomasse	CO_2	**28,2**	18,49	38,09	34,39	35,20
Streu/Totholz	CO_2	**0,5**	0,09	0,82	80,3	80,3

1) Die kategoriespezifischen indirekten N2O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Subkategorien
2) ausschließlich Entwässerungsgräben

Aus Feuchtgebieten wurden im Jahr 2020 5.178,2 kt CO_2-Eq. (95 %-KI: 3.759,0 – 6.708,2 kt CO_2-Eq.) freigesetzt. Tabelle 420 verdeutlicht, dass die Emissionen aus der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete im Wesentlichen auf die CO_2-Freisetzung aus organischen Böden zurückzuführen sind (83,5 %). Diese werden wiederum zu ähnlichen Teilen durch die CO_2-Freisetzung infolge des Torfabbaus (53,2 %) und der Entwässerung terrestrischer organischer Böden (46,7 %) verursacht. Die Freisetzung von Methan (13,2 %) und Lachgas (0,8 %) ist gemessen an der Summe der Gesamtemissionen gering, genau wie die CO_2-Freisetzung aus der Biomasse (2,2 %); letztere wirkt in der Unterkategorie Gewässer als Quelle, in der Unterkategorie „Terrestrische Feuchtgebiete“ hingegen als Senke. Die Emissionen aus Mineralböden sind negativ und wirken folglich als Senke. Ihr Anteil ist aber sehr gering (- 0,8 %).

Die Emissionen aus industriellem Torfabbau unterteilen sich in Emissionen, die auf Abbauflächen während der Torfgewinnung entstehen (on-site-Emissionen) sowie denjenigen, welche durch Ausbringung der gewonnenen Torfprodukte freigesetzt werden (off-site-Emissionen). Die off-site-Emissionen betrugen 2020 2.212,98 ± 867,5 kt CO_2-Eq. und waren demnach maßgeblich für die Höhe der Gesamtemissionen aus dem Torfabbau (94,5 %). Die on-site-Emissionen sind mit 99,8 kt CO_2-Eq. (-12,0 % / +15,6 %) demgegenüber gering und werden dominiert vom CO_2 (90,6 %), gefolgt vom Methan (2,8 %) und Lachgas (7,5 %).

Der Verlauf der Zeitreihen in Abbildung 75 und Abbildung 76 verdeutlicht, dass die Gesamtemissionen im Jahr 2020 gegenüber dem Basisjahr zugenommen haben (27,1 %), infolge einer zwischenzeitlich verstärkten Umwidmung von Grünland-, Wald- und Siedlungsflächen. Die Emissionszunahme ist im wesentlichen den Pools organische Böden und Biomasse zuzuschreiben (Abbildung 75). Der Trendkurvenverlauf wird durch die Emissionen infolge Torfabbau und Drainage sowie der organischen Böden der Unterkategorie Terrestrische Feuchtgebiete dominiert. Während erstere die jährlichen Torfproduktionsmengen widerspiegeln und über die Jahre eine ähnliche Größenordnung aufweisen, zeigen die Emissionen aus den organischen Böden der Subkategorie Terrestrische Feuchtgebiete eine stringente Zunahme (+37,5 %).

Abbildung 75: CO2-Emissionen [kt CO2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Feuchtgebieten von 1990-2020, dargestellt nach Unterkategorien

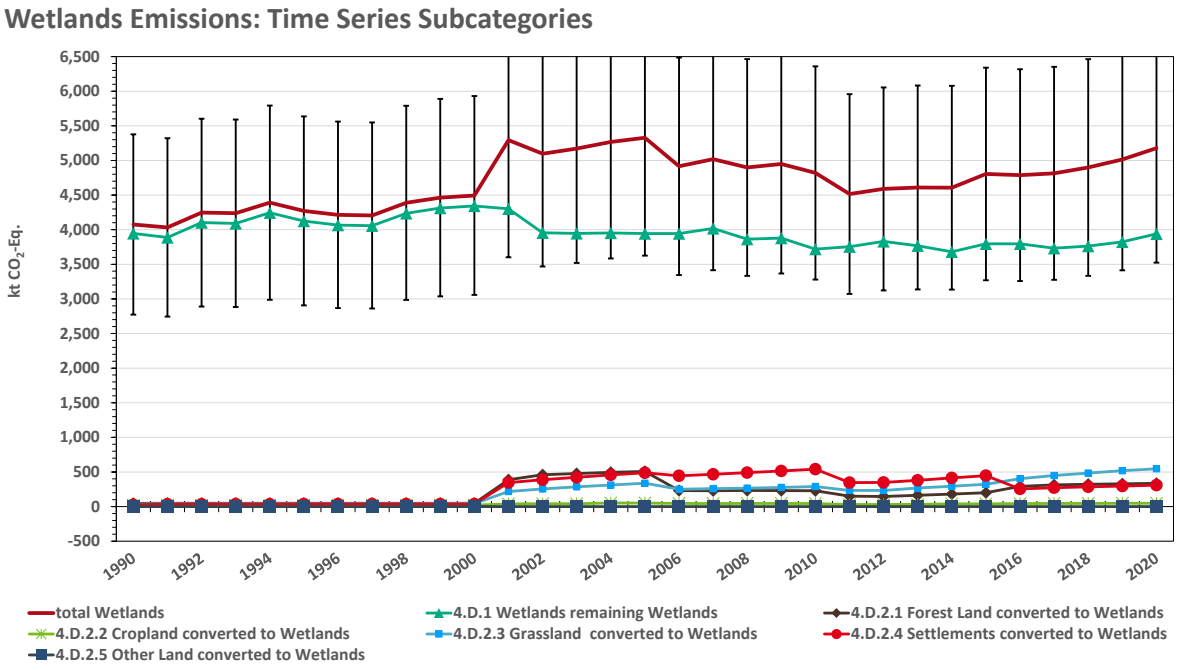
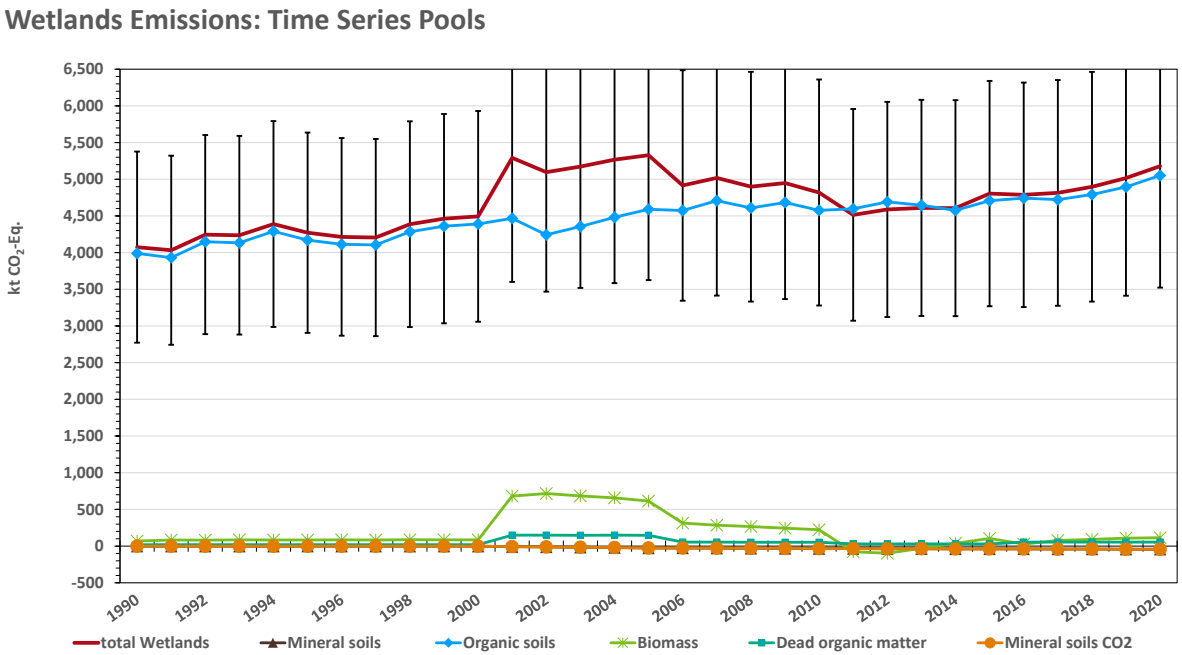


Abbildung 76: CO_2-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus den Feuchtgebieten von 1990-2020, dargestellt nach Pools



6.7.2 Methodische Aspekte (4.D)

6.7.2.1 Datenquellen

Die Produktionsmengen für Torf aus industriellem Torfabbau entstammen der deutschen Offizialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1).

Weitere Quellen siehe Kapitel 6.3.2 und 6.2.

6.7.2.2 Biomasse

Gewässerflächen sind vegetationslos, so dass der Kohlenstoffvorrat in der Biomasse Null ist und in den CRF-Tabellen immer mit NO (not occurring) ausgewiesen wird ; das gleiche gilt für Torfabbauflächen.

Für Flächen der Subkategorie „Terrestrische Feuchtgebiete“ wurde eine neue Methode zur Berechnung der Biomasse eingeführt. Diese ist ausführlich in Kapitel 6.1.2.3ff beschrieben, spezifisch für Terrestrische Feuchtgebiete in Kapitel 6.1.2.3.7. Die Berechnung der Veränderungen im Kohlenstoffvorrat der Biomasse infolge von Landnutzungsänderungen erfolgt mittels der in Kapitel 6.1.3 ff beschriebenen Verfahren und Methoden.

Die impliziten Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten sind in Tabelle 422 (Kapitel 6.7.3) dargestellt.

6.7.2.3 Mineralböden

Bei Landnutzungsänderungen zu Gewässern werden keine Änderungen im Kohlenstoffvorrat von Mineralböden angenommen (NO in CRF-Tabelle 4.D.1). In den Verbleibkategorien von Terrestrischen Feuchtgebieten und Gewässern wird ein Gleichgewicht in den Mineralböden unterstellt, die entsprechenden Felder in den CRF-Tabellen daher mit NA versehen.

Für die Unterkategorie „Terrestrische Feuchtgebiete“ erfolgt die Berechnung der Veränderungen im Kohlenstoffvorrat der Mineralböden infolge von Landnutzungsänderungen mittels der in Kapitel 6.1.2.1 beschriebenen Verfahren und Methoden.

Die impliziten Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten sind in Tabelle 422 (Kapitel 6.7.3) zu finden.

6.7.2.4 Organische Böden

Die Emissionsberechnung erfolgt nach den in Kapitel 6.1.2.2 beschriebenen Methoden. Mit der vorliegenden Submission wurde ein Verweisfehler im Algorithmus zur Berechnung der Methanemissionen aus der Subkategorie Gewässer korrigiert; es wird nun mehr auf den korrekten Emissionsfaktor für Methan aus Entwässerungsgräben verwiesen.

6.7.2.5 Torfabbau

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Torfabbau erfolgte gemäß den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines nach einem Tier-2-Ansatz. Berechnet werden die Gesamtemissionen aus den on-site- und off-site-Emissionen nach den Gleichungen 7.2 bis 7.5 der 2006 IPCC-Guidelines (IPCC, 2006b). In der Unterkategorie Torfabbau werden CO_2- (on-site: Emission und DOC, off-site: Produzierter und ausgebrachter Torf), CH_4- (Emission und Grabendrainung) und N_2O-Emissionen (on-site) berichtet; die Herleitung der Emissionsfaktoren ist in Kapitel 6.1.2.2 dargestellt. Als Aktivitätsdaten liegen der Abschätzung zugrunde:

- Berechnung der on-site-Emissionen: Die Ermittlung der industriellen Torfabbauflächen, sowie die Ermittlung der Flächenwanderung von und zu diesen, erfolgte mittels des Basis-DLM (siehe Kapitel 6.3). Diese Datensätze wurden erst vom Jahr 2008 an vollständig in das Basis-DLM übernommen. Daher wird die für 2008 ermittelten Torfabbauflächen für alle Jahre vor 2008 zur Berechnung der on-site-Emissionen herangezogen; von 2008 an, die jeweils für die Erhebungsstichjahre aktuellen Werte.
- Berechnung der off-site - Emissionen: Die jährlichen Produktionsmengen; diese entstammen der deutschen Offizialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1).

Gleichung 7.3 (IPCC, 2006b):

$$CO_2\text{-}Eq._{Torfabbau} = CO_2\text{-}Eq._{on\text{-}site} + CO_2\text{-}Eq._{off\text{-}site}$$

CO_2- $Eq._{Torfabbau}$: THG-Emissionen aus dem Torfabbau [t C- Eq a^{-1}]

CO_2- $Eq._{on\text{-}site}$: THG-Emissionen, die während der Produktion vor Ort entstehen [t C- Eq a^{-1}]

CO_2- $Eq._{off}$-site: THG-Emissionen durch produzierte, zu Gartenbauzwecken ausgebrachten Torfen [t C- Eq a^{-1}]

In Deutschland werden ausschließlich Hochmoortorfe abgebaut daher wurde Gleichung 7.4 (IPCC, 2006b) folgendermaßen modifiziert:

$$CO_2\text{-}Eq._{on\text{-}site} = A_{Torf\text{-}nährstoffarm} \times (EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_CO2} + EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_N2O} + EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_CH4})$$

CO_2-$Eq._{on\text{-}site}$: on-site-Emissionen, die während der Produktion vor Ort entstehen [t CO_2-Eq. a^{-1}]

$A_{Torf\text{-}nährstoffarm}$: Torfabbaufläche für Hochmoortorfe [ha]

$EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_(CO2, N2O, CH4)}$: Landesspezifische Emissionsfaktoren für Hochmoortorfe im Abbau [t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}] (s.Kapitel 6.1.2.2)

Die Berechnung der off-site-Emissionen erfolgte nach Gleichung 7.5 (IPCC, 2006b):

$$CO_2\text{-}Eq._{off\text{-}site} = Vol_{Torf_trocken} \times Cfraction_{vol_Torf}$$

$CO_{2off\text{-}site}$: CO_2-Eq.-Emissionen durch produzierte, zu Gartenbauzwecken ausgebrachten Torfen [t CO_2-Eq. a^{-1}]

$Vol_{Torf_trocken}$: Volumen des lufttrockenen Torfes [m^3]

$C_{fractionvol_Torf}$: Kohlenstoffanteil bezogen auf das Volumen luftgetrockneten Torfs [0,2567 t CO_2-Eq. m^3 luftgetrockneter Torf (IPCC (2006b), Tab. 7.5)]

Die Emissionsfaktoren für die on-site Emissionen sind in Tabelle 425 (Kapitel 6.7.3) aufgeführt; die off-site Emissionen, berechnet aus den Torfproduktionsmengen, sowie die IEF für die off-site Emissionen in Tabelle 421.

Tabelle 421: Torfabbau: $IEF_{off\text{-}site}$ [t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}] und off-site Emissionen [kt CO_2-Eq.]

Torfabbau Jahr	IEF [t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	Off-site Emissionen [kt CO_2-Eq.]
1990	95,5	2.029,5 ± 795,6
1995	103,7	2.203,9 ± 863,9
2000	113,7	2.416,2 ± 947,2
2005	102,5	2.179,6 ± 854,4
2010	98,83	1.991,5 ± 780,7
2011	103,05	2.030,5 ± 796,0
2012	109,38	2.106,0 ± 825,6
2013	108,57	2.042,0 ± 800,5
2014	106,35	1.952,7 ± 765,5
2015	115,34	2.066,4 ± 810,0
2016	120,73	2.069,5 ± 811,2
2017	122,66	2.007,6 ± 787,0
2018	130,51	2.035,9 ± 798,1
2019	141,61	2.097,2 ± 822,1
2020	157,56	2.212.9 ± 867,5

6.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.D)

Die Zeitreihen für die Aktivitätsdaten zum Torfabbau vom Statistischen Bundesamt sind konsistent und für die gesamte Berichtsperiode verfügbar. Die Unsicherheiten für dieseAktivitätsdaten sind laut Statistischem Bundesamt 0, da es sich bei diesen Daten um eine Vollerhebung mit Auskunftspflicht handelt. Nichtsdestotrotz wird nach den 2006 IPCC Guidelines eine Unsicherheit von 20 % unterstellt, die im Wesentlichen auf der Unsicherheit der Umrechnung von Volumen- auf Masseeinheiten für Torfe beruht. Die in Tabelle 422 bis Tabelle 425 aufgeführten Unsicherheiten für den Torfabbau bis 40 % sind auf die Unsicherheitenfort-pflanzung und insbesondere auf die großen Unsicherheiten der genutzten IPCC Standardwerte zurückzuführen. Bezüglich der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas gelten die Ausführungen in den Kapiteln 6.5.3 und 6.6.3.

Die Aktivitäts- bzw. Flächendaten sind normalverteilt und weisen je nach Flächen- bzw. Stichprobengröße Unsicherheiten von 0,26 - 196 % auf. Die Gesamtunsicherheit für die Flächendaten der Kategorie Feuchtgebiete beträgt 0,23 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Emissionen der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete beträgt -27,4 % / +29,5 % [95-% Perzentile], die für die Subkategorien Terrestrische Feuchtgebiete -45,4 % / +50,5 %, Gewässer -19,0 % / +19,1 % und Torfabbau -37,1 % / +37,1%. Der Beitrag der Kategorie Feuchtgebiete zur Gesamtemission bzw. -unsicherheit des LULUCF-Sektors ist sehr gering. Lediglich die Werte im Zusammenhang mit dem Torfabbau und der organischen Böden aus der Subkategorie Terrestrische Feuchtgebiete sind wahrnehmbar.

Tabelle 422: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus terrestrischen Feuchtgebieten 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C[116]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	2,3607	8,61	8,61
$Acker_{annuell}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	2,3236	7,56	7,56
Hopfen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	8,56	8,56
Weinanbau	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	9,65	9,65
Obstanbau	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	8,76	8,76
Kurzumtriebsplantagen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	8,56	8,56
Baumschulen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	8,56	8,56
Weihnachtsbaumkulturen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	8,56	8,56
$Grünland_{i.e.S.}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	1,0626	6,58	6,58
Gehölze	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	1,9401	8,56	8,56
Gewässer	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,2660	12,02	12,02
Torfabbau	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	/	/	/
Siedlungen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	3,4049	9,25	9,25
Sonstiges Land	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	2,6900	3,69	4,69
Mineralboden N_2O_{direkt}[117]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
$Grünland_{i.e.S.}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0	99,99	487,00
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$[118]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
$Grünland_{i.e.S.}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0	99,99	487,00
Biomasse[119]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	-0,6274	27,68	28,35
$Acker_{annuell}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,5268	41,57	42,89
Hopfen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	42,49	43,84
Weinanbau	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	40,27	41,54
Obstanbau	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	30,32	31,26
Kurzumtriebsplantagen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	14,71	15,77
Baumschulen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	27,94	28,70
Weihnachtsbaumkulturen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	3,0077	31,65	32,49
Grünland i.e.S.	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	1,3102	41,42	42,72
Gehölze	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	-1,7110	41,70	42,42
$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	0,00	0,00
Gewässer	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	2,0981	47,94	49,47
Torfabbau	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	2,8175	47,94	49,47
Siedlungen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,5980	35,81	36,95
Sonstiges Land	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	47,94	49,47

[116] Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[117] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[118] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[119] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C[116]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Tote organische Substanz		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	-0,7293	6,96	6,96

positiv: Senke; negativ: Quelle

Tabelle 423: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Gewässern 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Gewässer		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		obere	untere
Mineralboden CO_2-C[120]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Gewässer		keine Emission	
Acker$_{annuell}$	Gewässer		keine Emission	
Hopfen	Gewässer		keine Emission	
Weinanbau	Gewässer		keine Emission	
Obstanbau	Gewässer		keine Emission	
Kurzumtriebsplantagen	Gewässer		keine Emission	
Baumschulen	Gewässer		keine Emission	
Weihnachtsbaumkulturen	Gewässer		keine Emission	
Grünland$_{i.e.S.}$	Gewässer		keine Emission	
Gehölze	Gewässer		keine Emission	
Siedlungen	Gewässer		keine Emission	
Gewässer	Gewässer		keine Emission	
Sonstiges Land	Gewässer		keine Emission	
Mineralboden N_2O_{direkt}[121]	[%]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	
Grünland$_{i.e.S.}$	Gewässer		keine Emission	
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$[122]	[%]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	
Grünland$_{i.e.S.}$	Gewässer		keine Emission	
Biomasse[123]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Gewässer	-1,8150	27,18	27,18
Acker$_{annuell}$	Gewässer	-0,2819	11,19	11,14
Hopfen	Gewässer	0,0000	16,54	16,54
Weinanbau	Gewässer	0,0000	19,20	22,88
Obstanbau	Gewässer	-0,6268	14,41	14,92
Kurzumtriebsplantagen	Gewässer	0,0000	8,12	16,10
Baumschulen	Gewässer	-10,2114	23,39	23,39
Weihnachtsbaumkulturen	Gewässer	-2,5104	32,85	32,85
Grünland i.e.S.	Gewässer	-0,3679	30,30	30,30
Gehölze	Gewässer	-3,6292	54,73	55,21
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	Gewässer	-1,8745	47,94	42,59
Gewässer	Gewässer	0,0000	1,00	0,00
Torfabbau	Gewässer	0,0000	0,00	0,00
Siedlungen	Gewässer	-0,4371	50,92	47,87
Sonstiges Land	Gewässer	0,0000	0,00	0,00
Tote organische Substanz	[%]	[t C ha-1 a-1]	[%]	[%]
Wald	Gewässer	-0,9156	6,96	27,31

positiv: Senke; negativ: Quelle

[120] Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[121] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[122] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[123] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

Tabelle 424: Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Torfabbau 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Torfabbau		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		obere	untere
Mineralboden CO_2-C[124]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Torfabbau**		keine Emission	
Acker$_{annuell}$	**Torfabbau**		keine Emission	
Hopfen	**Torfabbau**		keine Emission	
Weinanbau	**Torfabbau**		keine Emission	
Obstanbau	**Torfabbau**		keine Emission	
Kurzumtriebsplantagen	**Torfabbau**		keine Emission	
Baumschulen	**Torfabbau**		keine Emission	
Weihnachtsbaumkulturen	**Torfabbau**		keine Emission	
Grünland$_{i.e.S.}$	**Torfabbau**		keine Emission	
Gehölze	**Torfabbau**		keine Emission	
Siedlungen	**Torfabbau**		keine Emission	
Gewässer	**Torfabbau**		keine Emission	
Sonstiges Land	**Torfabbau**		keine Emission	
Mineralboden N_2O_{direkt}[125]				
Grünland$_{i.e.S.}$	**Torfabbau**		keine Emission	
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$[126]				
Grünland$_{i.e.S.}$	**Torfabbau**		keine Emission	
Biomasse[127]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Torfabbau**	-3,8325	27,18	27,18
Acker$_{annuell}$	**Torfabbau**	-0,6939	11,19	11,19
Hopfen	**Torfabbau**	0,0000	16,54	16,54
Weinanbau	**Torfabbau**	0,0000	19,20	19,20
Obstanbau	**Torfabbau**	0,0000	14,41	14,41
Kurzumtriebsplantagen	**Torfabbau**	0,0000	8,12	10,30
Baumschulen	**Torfabbau**	0,0000	23,39	23,39
Weihnachtsbaumkulturen	**Torfabbau**	-2,5266	32,85	32,85
Grünland i.e.S.	**Torfabbau**	-0,7344	30,30	30,30
Gehölze	**Torfabbau**	-2,9520	54,73	55,58
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	**Torfabbau**	-5,1925	47,94	49,47
Gewässer	**Torfabbau**	0,0000	0,00	0,00
Torfabbau		0,0000	1,00	2,00
Siedlungen	**Torfabbau**	-4,2686	50,92	52,55
Sonstiges Land	**Torfabbau**	0,0000	0,00	0,00
Tote organische Substanz		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Torfabbau**	-1,9333	6,96	6,96

positiv: Senke; negativ: Quelle

[124] Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[125] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[126] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[127] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

Tabelle 425: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Feuchtgebiete und Torfabbau im Jahr 2020

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden[128]		[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	%	%
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	CO_2	18,6217	94,48	104,20
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	N_2O	0,3215	99,99	314,29
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	CH_4	4,1613	97,88	127,12
Torfabbau	CO_2	129,9438	9,70	9,38
Torfabbau	N_2O	0,4199	63,27	51,06
Torfabbau	CH_4	0,1551	78,64	84,42

Die Berechnungen sind für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2020 räumlich und zeitlich konsistent und vollständig.

6.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.D)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE-Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in der Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Der Vergleich der mittleren Emissionsfaktoren Deutschlands in der Kategorie Feuchtgebiete (Wetlands) mit denen der europäischen Nachbarstaaten (Tabelle 426) zeigt, dass die IEF aufgrund der Zusammenfassung der Bodentypen nur schwer vergleichbar sind. So weist Deutschland im Pool Organische Böden in der Kategorie 4.D.1 den zweitgeringsten Emissionsfaktor auf, der allerdings sehr nah an den Werten Dänemarks und der Schweiz liegt. Die Kategorie Wetlands ist stark von der nationalen Definition abhängig, in Deutschland fließt z.B. der Torfabbau einschließlich der off-site-Emissionen mit ein, so dass die nationalen Verhältnisse und daher auch die mittleren Emissionsfaktoren eine große Streuung zeigen.

Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus der Submission 2021 (Berichtsjahr 2019) der Länder an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention verwendet. Die Werte für Deutschland stammen aus der vorliegenden Submission 2022 (Berichtsjahr 2020).

[128] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 426: Kohlenstoffvorratsveränderung verschiedener Pools in Wetland verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.D.1. - Wetlands Remaining Wetlands			4.D.2 - Land Converted To Wetland			
	Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]	Tote Organische Masse [t C ha^{-1} a^{-1}]	Organische Böden [t C ha^{-1} a^{-1}]	Biomasse [t C ha^{-1} a^{-1}]	Tote Organische Masse [t C ha^{-1} a^{-1}]	Mineralische Böden [t C ha^{-1} a^{-1}]	Organische Böden [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	NO	NO	-1,22	-0,07	1,41	NO
Dänemark	NO	NO	-5,61	-0,15	NO	NO	NO
Frankreich	NE	NE	NE	-0,51	-0,06	NO	NE
Großbritannien	0,00	NO,NA,IE	-0,16	-5,62	-2,00	NO,NA	-0,73
Niederlande	NO,NA	NO,NA	NO,NA	-0,59	-0,07	0,83	-0,32
Österreich	NO,NE	NO,NE	NO,NE	-0,49	-0,15	NO	NO
Polen	NO	0,00	-0,06	-0,03	-6,44	NO,NA	NO,NA
Schweiz	0,00	NO,IE	-4,85	-1,08	-0,17	-0,68	-4,38
Tschechische Republik[1)]	NA	NA	NA	-0,44	-0,01	NA	NA
Deutschland 2019	**0,013**	**IE**	**-4,56**	**-0,30**	**-0,11**	**0,11**	**-3,79**
Deutschland 2020	**0,01**	**IE**	**-6,63**	**-0,24**	**-0,10**	**0,11**	**-3,88**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

[1)] „Land Converted to Wetland"-Werte nur für „FL, CL, GL converted to other wetlands"

6.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.D)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2020 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Feuchtgebiete hatten folgende Maßnahmen:

- Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten bezüglich der Ausweisung von Landnutzungen und Landnutzungsänderungen sowie Anpassung der Landnutzungsmatrix über die Zeit (s. Kapitel 6.3.1ff)
- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus der Biomasse für mehrjährige Gehölzpflanzen außerhalb des Waldes (Kapitel 6.1.2.3.4 ff)
- Neue Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)
- Korrektur des Wertes für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.8.2.4)
- Korrektur des Algorithmus zur Berechnung der Methanemissionen aus der Subkategorie Gewässer (Kapitel 6.7.2.4)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Kategorie Feuchtgebiete in Tabelle 427 (Flächen) und Tabelle 428 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind zum einen auf die Änderung der Methode zur Erfassung der Fläche von Entwässerungsgräben organischer Böden zurückzuführen; zum anderen auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst wird (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Die Unterschiede zwischen der aktuellen und der Vorjahressubmission bezüglich der CO_2-Werte sind zu einem Teil auf die Änderung der Methodik zur Bestimmung der Emissionen aus der perennierenden Biomasse zurückzuführen, zum anderen Teil auf die durch die geringen Flächenunterschiede und unterschiedlichen Wasserstände bedingten Emissionen aus organischen Böden.

Die Korrektur des Algorithmus zur Berechnung der Methanemissionen aus der Subkategorie Gewässer führte zu deutlichen prozentualen Unterschieden zwischen den Submissionen.

Tabelle 427: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Feuchtgebiete

CRF-Nr	Area [kha]	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.D	Wetlands	**2021**	648,42	649,93	651,45	676,48	707,25	728,46	731,50	734,56	737,65	740,69
		2022	648,15	649,78	651,45	676,47	707,20	728,30	730,99	733,68	736,41	739,15
		Differenz	-0,27	-0,15	0,00	-0,01	-0,05	-0,16	-0,51	-0,88	-1,23	-1,54
		in %	-0,04	-0,02	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,07	-0,12	-0,17	-0,21

Tabelle 428: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq] aus der Kategorie Feuchtgebiete der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr		THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.D	Wet-lands	CO_2	**2021**	3.668,32	3.850,09	4.070,60	4.554,24	4.308,07	4.263,93	4.217,73	4.185,81	4.242,89	4.333,77
			2022	3.705,75	3.901,24	4.122,67	4.835,45	4.231,66	4.155,09	4.127,28	4.140,14	4.208,88	4.308,83
			Differenz	37,43	51,15	52,07	281,21	-76,42	-108,83	-90,45	-45,67	-34,02	-24,95
			in %	1,02	1,33	1,28	6,17	-1,77	-2,55	-2,14	-1,09	-0,80	-0,58
		CH_4	**2021**	363,06	363,91	364,72	353,84	436,95	480,05	494,89	498,69	502,35	506,25
			2022	335,07	336,04	337,08	453,62	546,99	608,55	619,02	631,99	647,14	664,27
			Differenz	-27,99	-27,87	-27,65	99,78	110,04	128,50	124,13	133,30	144,79	158,01
			in %	-7,71	-7,66	-7,58	28,20	25,18	26,77	25,08	26,73	28,82	31,21
		N_2O	**2021**	34,10	34,18	34,27	38,65	40,68	40,97	41,23	41,51	41,76	41,99
			2022	34,10	34,18	34,27	38,65	40,71	41,03	41,32	41,60	41,87	42,14
			Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,09	0,09	0,11	0,15
			in %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,14	0,21	0,22	0,26	0,36

6.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.D)

Die Regionalisierung der Kohlenstoffvorräte von Mineralböden Terrestrischer Feuchtgebiete, in Abhängigkeit von standortkundlichen Parametern, ist in Arbeit und wird kurzfristig implementiert werden. Deutschland wird damit die entsprechende Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020 umsetzen (ARR 2020: L.8, Table 5).

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.8 Siedlungen (4.E)

6.8.1 Beschreibung der Kategorie (4.E)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	4 E, Settlements		CO2	1.776,6	0,1%	1.075,9	0,2%	-39,4%
-/-/T2	**4 E, Settlements**		**N2O**	**170,9**	**0,0%**	**326,3**	**0,0%**	**90,9%**
-/-	4 E, Settlements		CH4	48,0	0,0%	65,3	0,0%	35,9%

* Lachgasemissionen, direkt und indirekt aus Mineralböden, aus organischen Böden

** Methanemissionen aus organischen Böden

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2	RS/NS	CS
N_2O	Tier 2	RS/NS	CS/D
CH_4	Tier 2	RS/NS	D

Die Kategorie *Siedlungen* ist für N_2O nach der Approach-2-Analyse als Hauptkategorien identifiziert worden.

In der Landnutzungskategorie Siedlungen wird über CO_2-Emissionen/-Festlegung der Pools Boden, Biomasse und tote organische Substanz von Flächen berichtet, die zu Siedlungs- und Verkehrszwecken ausgewiesen sind. Genaue Definitionen und Kategoriezuordnungen sind in Kapitel 6.2 aufgeführt. In der Subkategorie 4.H werden die N_2O-Emissionen aus drainierten Böden berichtet, da im CRF Reporter zu 4.E keine Untertabellen dazu angelegt worden sind. Die Ergebnisse der Abschätzung der Treibhausgasemissionen sind in Tabelle 429 und in Abbildung 77 und Abbildung 78 dargestellt.

Tabelle 429: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] aus Siedlungsflächen 2020. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Kategorie	THG	Siedlungen Emissionen 2019 [kt CO_2-Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Siedlungen$_{total}$ [1]		**1.467,4**	1.211,4	1.707,4	17,44	16,36
Mineralboden	CO_2 [2]	**1.202,2**	1.061,0	1.343,4	11,74	11,74
	N_2O_{direkt} [3]	**133,92**	72,53	303,66	45,84	126,74
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**30,13**	8,02	84,76	73,38	181,27
Organischer Boden	CO_2 [2]	**2.425,0**	1.542,8	2.864,8	36,38	18,14
	N_2O [5]	**162,23**	57,40	591,09	64,62	264,35
	CH_4 [5]	**65,27**	40,05	105,01	38,64	60,89
Biomasse	CO_2 [2]	**-2.933,18**	-2.136,30	-3.755,23	27,17	28,03
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**381,84**	352,60	411,08	7,66	7,66

1) Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.E, 4.(II).H, 4.(III).E, 4.(IV).2

2) CRF-Tabelle 4.E

3) CRF-Tabelle 4.(III).E

4) Die kategoriespezifischen indirekten N_2O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Unterkategorien

5) CRF-Tabelle 4.(II).H

Im Jahr 2020 betrugen die Treibhausgasemissionen aus den Siedlungs- und Verkehrsgebieten Deutschlands infolge von Landnutzung und Landnutzungsänderung 1.467,4 kt CO_2 (Tabelle 429); Quelle für den größten Teil dieser Emissionen sind die Böden, die 99,6 % der Nettoemissionen der Landnutzungskategorie betragen, wobei die Emissionen aus den organischen (62,9 %) Böden dominieren (Mineralböden 37,1 %).. Die Biomasse fungiert mit -12,3 kt CO_2-Eq. als Senke.

Gegenüber dem Basisjahr weisen die Emissionen im Jahr 2020 eine Nettoabnahme von -528,1 kt CO2-Eq. ≙ -26,5 % auf (Abbildung 77, Abbildung 78). Der Trend ist uneinheitlich und wird im Wesentlichen von den Emissionen aus der Biomasse und den Mineralböden bestimmt, infolge von Landnutzungsänderungen von Wald, Acker- und Grünland zu Siedlungszwecken.

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen, insbesondere die deutlichen Änderungen, sind vor allem auf die sich zu den entsprechenden expliziten Erhebungsterminen ändernden Flächendaten zurückzuführen (siehe Kapitel 6.3.5). Auch in der Kategorie Siedlungen zeigt sich der mehrfach beschriebene Übergang zwischen den unterschiedlichen Datenquellen; CORINE (1990 - 2000), B-DLM des ATKIS®(2000 - 2020) (s. Kapitel 6.3.2.2). Außerdem zeigen sich deutlich die Auswirkungen der neuen Methode zur Bestimmung der Biomasse: Die allmähliche Zunahme der

Kohlenstoffvorräte in der Gehölzbiomasse der Neusiedlungsflächen kompensiert erst über einen längeren Zeitraum die unmittelbar auftretenden starken Verluste aus der pflanzlichen Biomasse der Vornutzungen.

Abbildung 77: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen von 1990 – 2020, dargestellt nach Unterkategorien

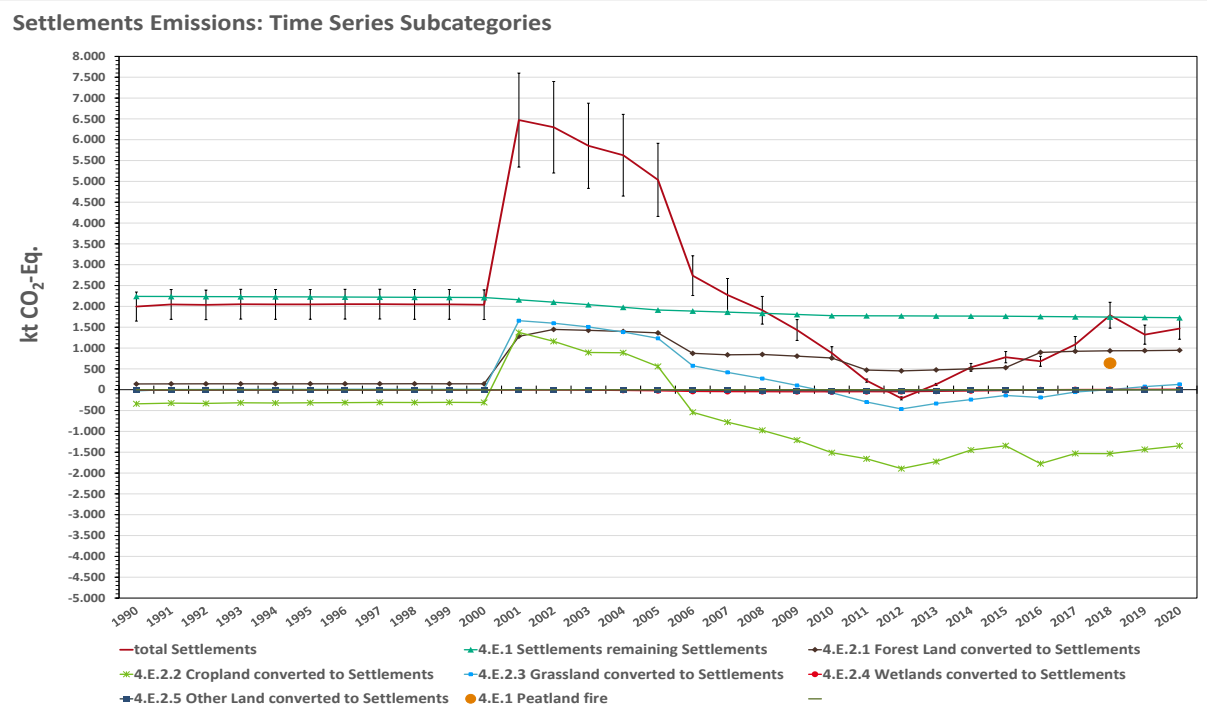
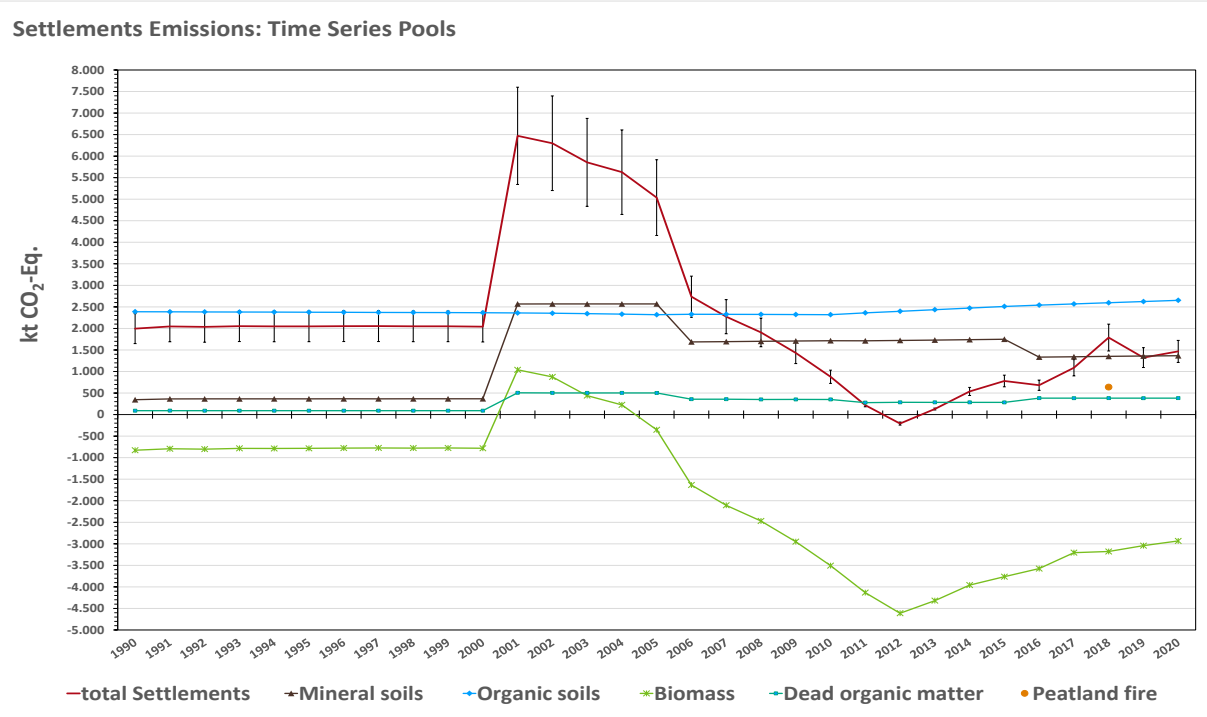


Abbildung 78: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen Deutschlands von 1990 – 2020, dargestellt nach Pools



6.8.2 Methodische Aspekte (4.E)

6.8.2.1 Datenquellen

Nähere Angaben zu Datenquellen sind unter Kapitel 6.3.2 zu finden.

6.8.2.2 Biomasse

Für Flächen im Siedlungsbereich wurde eine neue Methode zur Berechnung der Biomasse eingeführt. Diese ist ausführlich in Kapitel 6.1.2.3ff beschrieben, spezifisch für Siedlungsflächen in Kapitel 6.1.2.3.7.

Der Kohlenstoffvorrat von Totholz und Streu wird bei der lebeden Biomasse berücksichtigt. Die entsprechende Felder der CRF-Tabelle sind mit IE versehen.

6.8.2.3 Mineralische Böden

Bei verbleibenden Siedlungsflächen wird unterstellt, dass keine Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden auftreten; daher werden die entsprechenden Felder im Tabellenwerk mit NA versehen. Bei Landnutzungsänderungen zu Siedlungen hingegen werden Kohlenstoffvorratsänderungen berichtet. Nähere Angaben zu den angewendeten Methoden sind unter Kapitel 6.1.2.1 zu finden. Die Herleitung und Verifizierung der Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung der versiegelten Fläche sind in Kapitel 6.1.2.1.6 aufgeführt.

Infolge der Korrektur eines fehlerhaften Algorithmus zur Berechnung des Kohlenstoff- und Stickstoffvorrats in Mineralböden der Verbleibkategorie Siedlungen, mussten die entsprechenden Werte gegenüber der Vorjahressubmission um 5,5 % korrigiert werden; für den Kohlenstoffvorrat von 36,81 t C ha^{-1} auf 38,84 t C ha^{-1}, für den Stickstoffvorrat von 3,27 t N ha^{-1} auf 3,45 t N ha^{-1}.

6.8.2.4 Organische Böden

Für organische Böden in Siedlungsgebieten wird davon ausgegangen, dass sie drainiert sind. Da über die Dränage von organischen Böden in Siedlungen keine spezifisch erhobenen Daten vorliegen, wird angenommen, dass die Böden wie Grünland gedraint werden und der entsprechende Emissionsfaktor verwendet wird(Kapitel 6.6.2.4). Dieser wurde gegenüber dem Vorjahr modifiziert. Eine detaillierte Analyse der Flächen mit organischen Böden im Siedlungsbereich ergab, dass diese durchschnittlich nur zu 15 % versiegelt sind und nicht, wie bisher unterstellt, zu 50 %. Daher wurde der Emissionsfaktor von Grünland mit dem neuen Flächenfaktor auf 3,91 kg N_2O-N ha^{-1} korrigiert.

Bei Landnutzungsänderung zu Siedlungen wird sofort der Wert für verbleibende Siedlungen verwendet.

6.8.2.5 Flächenbrände

Anthropogen verursachte Flächenbrände, vergleichbar dem Moorbrand im Jahr 2018 (NIR 2020, Kap. 6.8.2.5), traten im Jahr 2020 nicht auf (NO).

6.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.E)

Die Zeitreihenkonsistenz ist bezüglich der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren gesichert.

Die Emissionsfaktoren und Unsicherheiten für die Landnutzungskategorie Siedlungen sind in Tabelle 430 und Tabelle 431 dargestellt. Mit Ausnahme des EF für CO_2 aus organischen Böden, der eine rechtssteile Verteilung aufweist, sind die anderen EF für CO_2 aus Böden i.d.R. normal, Lachgas und Methan durchgängig lognormal verteilt. Für die großen Unsicherheiten bezüglich der direkten und indirekten Stickstoffemissionen gelten die Ausführungen in Kapitel 6.5.3.

Die Unsicherheiten betragen für die Aktivitätsdaten in Abhängigkeit von der Flächengröße für das Jahr 2020 0,09 - 196 %. Die Gesamtunsicherheit für die Aktivitätsdaten der Siedlungskategorie beträgt 0,084 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Siedlungen beträgt -17,4 % / +16,4% (95-% Perzentile) und wird hauptsächlich von den Emissionen aus den organischen Böden bestimmt.

Tabelle 430: Implizite Emissionsfaktoren und Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Siedlungs- und Verkehrsflächen 2020, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Siedlungen	Fläche	Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		obere	untere
Mineralboden CO_2-C[129]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Siedlungen	-0,3854	22,07	22,07
Acker$_{annuell}$	Siedlungen	-0,1981	18,82	18,82
Hopfen	Siedlungen	-0,4016	21,78	21,78
Weinanbau	Siedlungen	-0,1968	24,69	24,69
Obstanbau	Siedlungen	-0,2052	22,55	22,55
Kurzumtriebsplantagen	Siedlungen	-0,7481	21,78	21,78
Baumschulen	Siedlungen	-0,5827	21,78	21,78
Weihnachtsbaumkulturen	Siedlungen	-0,6287	21,78	21,78
Grünland i. e. S.	Siedlungen	-0,4308	19,00	19,00
Gehölze	Siedlungen	-0,4741	21,78	21,78
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	-0,7539	22,26	22,26
Gewässer	Siedlungen	0,0000	18,74	18,74
Sonstige Flächen	Siedlungen	0,0000	20,07	20,07
Mineralboden N_2O_{direkt}[130]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	Siedlungen	0,0801	99,99	489,43
Acker$_{annuell}$	Siedlungen	0,0636	99,99	488,27
Hopfen	Siedlungen	0,1314	99,99	489,66
Weinanbau	Siedlungen	0,0672	99,99	491,51
Obstanbau	Siedlungen	0,0669	99,99	490,13
Kurzumtriebsplantagen	Siedlungen	0,2447	99,99	489,66
Baumschulen	Siedlungen	0,1906	99,99	489,66
Weihnachtsbaumkulturen	Siedlungen	0,2056	99,99	489,66
Grünland i.e.S.	Siedlungen	0,1378	99,99	488,34
Gehölze	Siedlungen	0,1551	99,99	489,66
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	0,2038	99,99	490,06
Sonstige Flächen	Siedlungen	0,0000	99,99	488,85
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$[131]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	Siedlungen	0,3559	99,99	489,43
Acker$_{annuell}$	Siedlungen	0,2827	99,99	488,27
Hopfen	Siedlungen	0,5839	99,99	489,66
Weinanbau	Siedlungen	0,2986	99,99	491,51
Obstanbau	Siedlungen	0,2971	99,99	490,13
Kurzumtriebsplantagen	Siedlungen	1,0875	99,99	489,66
Baumschulen	Siedlungen	0,8471	99,99	489,66
Weihnachtsbaumkulturen	Siedlungen	0,9139	99,99	489,66
Grünland i.e.S.	Siedlungen	0,6125	99,99	488,34
Gehölze	Siedlungen	0,6892	99,99	489,66
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	0,9059	99,99	490,06
Sonstige Flächen	Siedlungen	0,0000	99,99	488,85

[129] Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[130] Berechnung über 20 Jahre, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke
[131] Berechnung über 20 Jahre, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Siedlungen Landnutzung$_{vor}$	Fläche Landnutzung$_{nach}$	Emissionsfaktor	Schranken obere	 untere
Biomasse[132]		[kt C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Siedlungen	-1,0082	31,97	32,86
Acker$_{annuell}$	Siedlungen	1,0746	45,90	47,36
Hopfen	Siedlungen	1,9063	46,65	48,13
Weinanbau	Siedlungen	1,9063	46,65	48,13
Obstanbau	Siedlungen	0,9962	44,79	46,22
Kurzumtriebsplantagen	Siedlungen	-0,1448	18,82	19,80
Baumschulen	Siedlungen	0,7843	32,79	33,76
Weihnachtsbaumkulturen	Siedlungen	0,2165	36,14	37,20
Grünland i. e. S.	Siedlungen	1,0321	45,71	47,16
Gehölze	Siedlungen	-2,2417	39,76	40,52
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	-3,3365	35,81	36,95
Gewässer	Siedlungen	1,4194	50,92	52,55
Torfabbau	Siedlungen	1,8220	50,92	52,55
Sonstige Flächen	Siedlungen	0,0000	50,92	52,55
Tote organische Substanz[133]		[kt C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[kt C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[%]
Wald	Siedlungen	-1,0867	6,96	6,96

Tabelle 431: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Siedlungen im Jahr 2020

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken untere	 obere
Organischer Boden[134]		[t CO2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Siedlungen	CO_2	26,8231	52,80	26,19
Siedlungen	CH_4	0,7219	58,37	92,10
Siedlungen	N_2O	1,7945	93,48	382,61

6.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.E)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE–Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in der Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Die folgenden Tabellen vergleichen die Emissionsfaktoren der Kategorie Siedlungen mit denen europäischer Nachbarländer. Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus den Submissionen 2021 des Klimasekretariats verwendet. Die Werte für Deutschland stammen aus den Submissionen 2021 und 2022.

Der IEF für Biomasse der aktuellen Submission weisen die Übergangskategorien insgesamt als Senke aus; lediglich die Übergangskategorie von Wald fungiert diesbezüglich als Quelle. Den Pool Biomasse betreffend ist die Variation bezüglich des Betrags und des absoluten Wertes in den Nachbarländern sehr groß (von Quelle bis Senke); lediglich Österreich weist einen qualitativ gleichen Trend wie Deutschland auf.

Die IEF der anderen Pools sind gegenüber den Nachbarländern bezüglich Trend und Betrag unauffällig.

[132] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[133] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[134] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 432: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	-0,49	-4,90	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,15	-0,97	-0,13	-0,05	-0,06	NO
Frankreich	-0,03	-0,70	-3,79	-0,03	-0,34	NE	-0,03
Großbritannien	NA	-0,23	-3,89	-0,11	-0,03	-3,18	NA
Niederlande	NA	-0,86	-5,59	-0,22	-0,62	NO,NE	NA
Österreich	NO	0,47	-0,83	0,64	0,40	NO	NO
Polen	0,05	-0,44	-1,70	0,00	-0,99	NO	0,05
Schweiz	0,00	-0,53	-4,56	-0,18	-0,13	0,12	0,00
Tschechische Republik	NO	-0,30	-3,45	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	**NO**	**0,0031**	**-1,427**	**0,201**	**0,064**	**0,720**	**NO**
Deutschland 2020	**NO**	**0,738**	**-1,008**	**1,069**	**0,727**	**0,751**	**NO**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 433: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	-0,01	-0,15	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,08	-2,21	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NE	-0,07	-0,46	NE	NE	NE	NE
Großbritannien	NA	-0,05	-1,17	IE,NA	IE,NA	-0,37	NO
Niederlande	NA	-0,12	-1,60	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,03	-0,57	NO	NO	NO	NO
Polen	NO	-0,04	-0,62	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,07	-0,88	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	-0,01	-0,08	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	**IE**	**-0,11**	**-1,24**	**IE**	**IE**	**IE**	**IE**
Deutschland 2020	**IE**	**-0,10**	**-1,09**	**IE**	**IE**	**IE**	**IE**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 434: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	-1,04	-2,21	NO	-1,63	NO	-1,04
Dänemark	NO	-0,87	-1,48	-0,81	-1,51	NO	-0,87
Frankreich	NE	-0,97	-1,55	-0,16	-1,65	NE	-0,97
Großbritannien	-0,32	-2,75	-5,85	-1,40	-3,30	-0,32	-2,75
Niederlande	NA	-0,21	-0,39	0,51	-0,50	NA	-0,21
Österreich	NA	-1,03	-2,93	-0,52	-1,52	NA	-1,03
Polen	NO	-1,45	-2,51	-1,41	-1,87	NO	-1,45
Schweiz	0,06	-0,51	-0,98	-0,35	-0,53	0,06	-0,51
Tschechische Republik	NO	-0,13	-0,29	-0,05	-0,41	NO	-0,13
Deutschland 2019	**NO**	**-0,346**	**-0,438**	**-0,220**	**-0,485**	**-0,031**	**-0,081**
Deutschland 2020	**NO**	**-0,312**	**-0,385**	**-0,200**	**-0,435**	**-0,029**	**NO**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 435: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2019 & 2020, übrige Länder für 2019)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha^{-1} a^{-1}]
Belgien	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-0,92	-2,22	-1,43	NO	-5,00	-7,90	NO
Niederlande	-4,13	-4,03	-3,81	-3,91	-4,07	-3,97	-3,15
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	NO
Schweiz	-2,53	-5,17	-7,06	-5,17	-5,16	-5,78	NO
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2019	**-7,21**	**-7,25**	**-6,68**	**-7,61**	**-7,13**	**-7,30**	**-6,78**
Deutschland 2020	**-7,28**	**-7,38**	**-6,90**	**-7,61**	**-7,39**	**-6,34**	**-6,87**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC)

6.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.E)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2020 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Siedlungen hatten folgende Maßnahmen:

- Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten bezüglich der Ausweisung von Landnutzungen und Landnutzungsänderungen sowie Anpassung der Landnutzungsmatrix über die Zeit (s. Kapitel 6.3.1 ff)
- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus der Biomasse für mehrjährige Gehölzpflanzen außerhalb des Waldes (Kapitel 6.1.2.3.4ff)
- Neue Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3),
- Korrektur des Wertes für den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat mineralischer Böden in der Verbleibkategorie Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.8.2.4)
- Modifizierung des Emissionsfaktors für Lachgasemissionen aus organischen Böden unter Siedlung (Kapitel 6.8.2.4)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Kategorie Siedlungen inTabelle 436 (Flächen) und Tabelle 437 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst wird (s. auch Kapitel 6.3ff).

Bezüglich des CO_2 gründen die sehr großen Unterschiede zwischen der aktuellen und der Vorjahressubmission zum größten Teil auf den Änderungen der Methodik zur Bestimmung der Emissionen aus der perennierenden Biomasse. Infolge dieser hat im Siedlungsbereich die Senkenfunktion für CO_2-Emissionen aus der Biomasse um einen Faktor von mehr als 240 zugenommen, wohingegen die Unterschiede zur Vorjahressubmission betreffs der Emissionen aus den Böden kleiner 10 % betragen und im wesentlichen auf die o.a. geringen Flächenänderungen zurückzuführen sind.

Die prozentual großen Unterschiede der Lachgasemissionen zwischen den Berichtsjahren sind nahezu ausschließlich auf die Emissionen aus organischen Böden zurückzuführen und bedingen sich in der Nutzung des modifizierten Emissionsfaktors für organische Böden unter Siedlungen.

Tabelle 436: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Siedlungen (4.E)

CRF -Nr	Area [kha]	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.E	Settlement	2021	3.842,00	3.858,30	3.874,59	4.122,81	4.286,05	4.501,28	4.529,34	4.557,41	4.585,46	4.613,52
		2022	3.840,57	3.857,17	3.873,78	4.121,78	4.284,91	4.499,34	4.525,26	4.551,20	4.577,11	4.603,03
		Differenz	-1,44	-1,13	-0,80	-1,03	-1,14	-1,94	-4,08	-6,22	-8,35	-10,49
		in %	-0,04	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,09	-0,14	-0,18	-0,23

Tabelle 437: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq] aus der Kategorie Siedlungen (4.E) der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF -Nr		THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.E	Settle-ment	CO_2	2021	2.429,08	2.429,97	2.433,25	3.801,32	3.430,93	3.612,79	4.040,08	4.091,21	4.054,91	4.122,12
			2022	1.776,57	1.812,06	1.806,38	4.529,69	471,74	351,63	303,79	704,11	1.308,65	932,21
			Differenz	-652,51	-617,91	-626,87	728,37	-2.959,19	-3.261,16	-3.736,30	-3.387,10	-2.746,25	-3.189,91
			in %	-26,86	-25,43	-25,76	19,16	-86,25	-90,27	-92,48	-82,79	-67,73	-77,39
		CH_4	2021	47,97	46,51	45,35	56,19	58,68	63,73	63,73	65,75	67,67	69,57
			2022	48,03	46,73	45,31	52,75	56,95	61,93	63,45	65,00	65,81	65,94
			Differenz	0,06	0,22	-0,03	-3,44	-1,73	-1,80	-0,28	-0,75	-1,86	-3,62
			in %	0,13	0,47	-0,07	-6,12	-2,95	-2,82	-0,44	-1,14	-2,75	-5,20
		N_2O	2021	96,71	129,96	129,61	396,33	291,38	303,75	268,55	271,12	273,53	275,56
			2022	170,94	189,56	188,76	454,43	349,60	366,48	315,27	318,13	320,92	323,68
			Differenz	74,23	59,60	59,15	58,11	58,22	62,73	46,72	47,01	47,39	48,12
			in %	76,76	45,86	45,64	14,66	19,98	20,65	17,40	17,34	17,33	17,46

6.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.E)

Die Regionalisierung der Mineralbodenkohlenstoffvorräte von Siedlungsflächen, in Abhängigkeit von standortkundlichen Parametern, ist in Arbeit und wird mit den nächsten Submissionen umgesetzt werden. Deutschland wird damit die entsprechende Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020 umsetzen (ARR 2020: L.8, Table 5).

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.9 Sonstiges Land (4.F)

6.9.1 Beschreibung der Kategorie (4.F)

„Sonstiges Land“ wird nur als Ausgangskategorie von Landnutzungsänderungen zu anderen Kategorien in der Emissionsberechnung berücksichtigt. Rückumwandlungen zu „Sonstiges Land“ findet nicht statt, da definitionsgemäß einmal genutztes Land nicht mehr in eine ungenutzte Landnutzungskategorie überführt werden kann.

Die Kohlenstoffvorräte in den Kategorien Biomasse und toter organischer Substanz in der Kategorie „Sonstiges Land“ sind Null.

Die Kohlenstoffvorräte in Mineralböden in der Kategorie „Sonstiges Land“ sind in Kapitel 6.1.2 ausgewiesen.

Organische Böden in der Kategorie „Sonstiges Land“ sind nicht drainiert.

6.9.2 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.F)

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten erfolgten gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b). Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 6.1.2.1.

Die Zeitreihe ist vollständig und konsistent.

6.9.3 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.F)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

6.9.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.F)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2020 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Flächen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Flächenberechnungen für die Landnutzungskategorie „Sonstiges Land“ hatte folgende Maßnahme:

- Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten bezüglich der Ausweisung von Landnutzungen und Landnutzungsänderungen sowie Anpassung der Landnutzungsmatrix über die Zeit (s. Kapitel 6.3.1 ff)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Flächen der Kategorie „Sonstiges Land“ in Tabelle 438.

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst wird (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Tabelle 438: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Sonstiges Land

CRF-Nr	Area [kha]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
4.F	Other Land	2021	67,76	62,44	57,14	46,06	41,22	38,66	38,13	37,60	37,07	36,55
		2022	67,59	62,36	57,14	46,06	41,22	38,66	38,16	37,66	37,16	36,66
		Differenz	-0,16	-0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,05	0,09	0,11
		in %	-0,24	-0,13	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07	0,14	0,23	0,31

6.9.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.F)

Entfällt, da in dieser Kategorie keine Treibhausgasquellen und -senken berichtet werden.

6.10 Holzprodukte (4.G)

6.10.1 Beschreibung der Kategorie (4.G)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	4 G, Harvested Wood Products		CO2	-1.330,4	-0,1%	-8.651,3	-1,2%	550,3%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS/Tier 2	IS/NS	D

Die Kategorie Holzprodukte ist eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Wie in den Vorjahren, wurde die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen im Landnutzungssektor in dem Modell WoodCarbonMonitor (Rüter, 2017) mit dem vorgegebenen Berechnungsansatz auf Basis der Daten zur Produktion von Holzprodukten vorgenommen. Damit umfasst die Abschätzung alle in Deutschland produzierten Holzprodukte, deren Holz aus heimischem Einschlag stammt und die stofflich genutzt werden.

Aus Konsistenzgründen folgt die Berechnung den methodischen Vorgaben des Kapitels 2.8 des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a), da gemäß der Fußnote 12 im Tabellenblatt 4.G s1 des Gemeinsamen Berichterstattungsformats im Annex II der Entscheidung 24/CP.19 über die

Überarbeitung des gemeinsamen Berichterstattungsformats[135] (UNFCCC, 2014) für den auf Produktionsdaten basierenden und hier verwendeten Ansatz (Ansatz B) neben den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) auch andere IPCC Leitlinien genutzt werden können, die diesen Ansatz widerspiegeln. Die in den Regeln des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) beschriebenen Systemgrenzen zur Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten entsprechen den Systemgrenzen des in Tabelle 12.1 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) mit der Variable 2A umschriebenen Ansatzes (Produktionsansatz für stofflich genutzte Holzprodukte).

Um eine transparente Darstellung zu gewährleisten, werden die stofflich genutzten Holzprodukte gemäß Berichterstattungstabelle 4.Gs1 unterschieden in Produkte, welche nach ihrer Herstellung in Deutschland verbraucht werden, und in Produkte, die anschließend exportiert werden. Eine Kohlenstoffspeicherwirkung von Holz in Deponien wird nicht berücksichtigt. Die Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen wird in Deutschland ausschließlich energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt und deshalb nicht unter Holzprodukte (HWP) berichtet.

Abbildung 79: Netto CO_2-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten [kt CO_2)

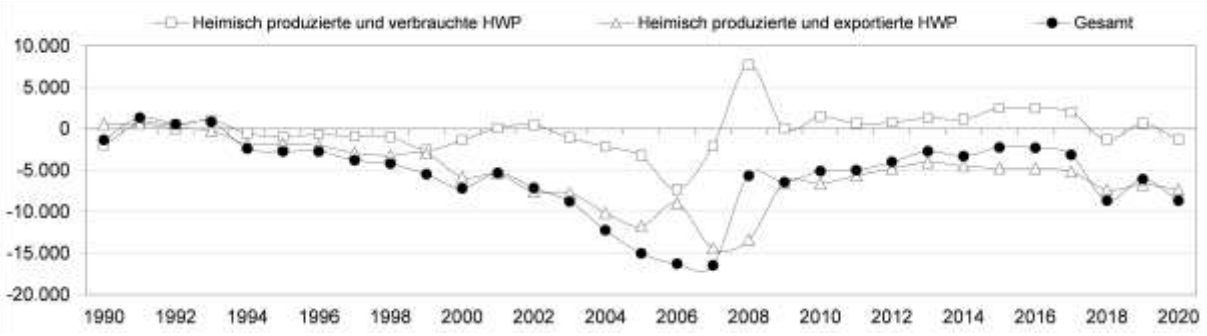
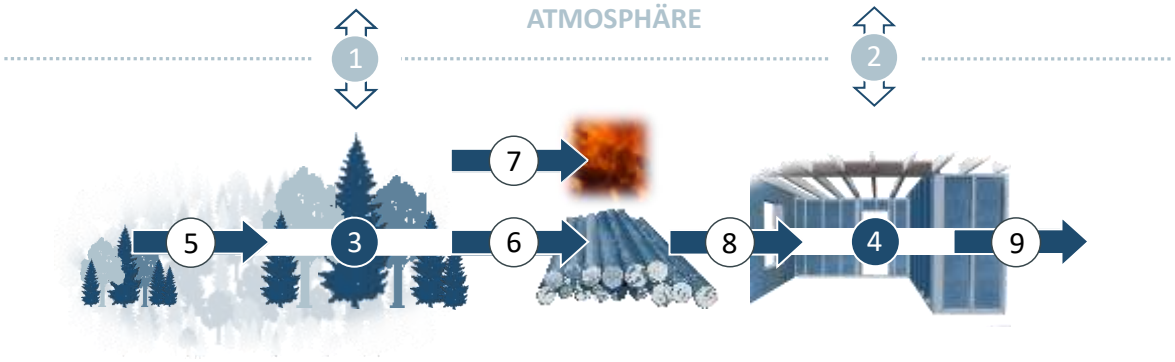


Abbildung 80 zeigt eine Übersicht über die mit der Wald- und Holznutzung verbundenen Kohlenstoffflüsse, die als Zu- und Abnahme („gains“ und „losses“) der definierten Kohlenstoffspeicher für Wald (hier: nur lebende Biomasse (3), s. Kapitel. 6.4.2.2) und Holzprodukte (4) berichterstattet werden. Über die Änderungen dieser definierten Speicher werden die atmoshpärisch relevanten CO_2-Emissionen und deren Einbindungen ermittelt (lebende Biomasse 1 und Holzprodukte 2).

135 Fußnote 12 des CRF-Tabellenblatts 4.G s1

Abbildung 80: Kohlenstoffflüsse, Kohlenstoffspeicher und ihre CO_2-Emissionen und Einbindungen entlang der Forst- und Holzkette



CO_2-Emissionen und ihre Einbindung in den Kohlenstoffspeichern WALD[a] und HOLZPRODUKTE	[in kt CO_2e]
1 WALD[a]	-29.334
2 HOLZPRODUKTE	-8.651
Größe der definierten Kohlenstoffspeicher[e]	[in kt C]
3 WALD[a]	1.230.070
4 HOLZPRODUKTE	293.029

Kohlenstoffflüsse[b] zu und aus den Kohlenstoffspeichern	[in kt C]
5 Zunahme (WALD)	43.264
6 Abnahme (WALD) *(Rohholz[c] für stoffliche Nutzung)*	-18.429
7 Abnahme (WALD) *(Rohholz für vornehmlich energetische Nutzung[d])*	-16.835
8 Zunahme (HOLZPRODUKTE)	13.776
9 Abnahme (HOLZPRODUKTE)	-11.417

[a] hier nur lebende Biomasse
[b] während des Berichtsjahres (Zunahme positiv, Abnahme negativ)
[c] basierend auf der StBA-Holzeinschlagstatistik (Stamm- und Industrieholz) in Erntefestmeter (m^3)
[d] basierend auf Differenz zw. StBA-Holzeinschlagstatistik (Stamm- und Industrieholz) und inventurdatenkalibriertem Gesamtholzeinschlag in Vorratsfestmeter (Vfm) (vgl. Abb. 70)
[e] am Ende des Berichtsjahres (WALD: basierend auf den Daten der Kohlenstoffinventur 2017 (CI 2017), s. www.bwi.info) WoodCarbonMonitor © S. Rüter, 2021

Darüberhinaus wird neben der Zunahme (5) des lebenden Biomassevorrates im Wald (d.h. auf der bestehenden Waldfläche sowie auf den mit Landnutzungsänderungen verbundenen Waldflächen) auch seine Abnahme dargestellt. Die damit verbundenen Kohlenstoffflüsse werden unterschieden zwischen dem Einschlag von Rohholz für eine stofflich Weiterverarbeitung zu Holzprodukten (6) und dem Abgang von Biomasse, der vornehmlich auf eine energetische Nutzung (7) von Holz zurückzuführen ist. Die Abschätzung der Kohlenstoffabnahme aufgrund der für eine stoffliche Nutzung entnommenen Rohholzmengen basiert auf den nach fünf Hauptbaum- bzw. Holzartengruppen untergliederten Daten zur Stamm- und Industrieholzproduktion der Holzeinschlagstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1), die in Erntefestmetern ausgewiesen wird. Die vornehmlich einer energetischen Holznutzung zugeschriebene Kohlenstoffabnahme des lebenden Biomassespeichers im Wald, welche nicht unter der Kategorie Holzprodukte berichtet wird (Produktionsansatz), umfasst neben Daten zur Erzeugung von Energieholz in der Einschlagstatistik auch das nicht verwertete Holz und die nicht in dieser Statistik erfassten Derbholzabgänge in Vorratsfestmetern. Letztere wurden im Rahmen der Kohlenstoffinventur 2017 (CI2017) ermittelt und dienen als Grundlage für die in Kapitel 6.10.2.1 beschriebenen Kalibrierung der Einschlagstatistik nach Hauptbaumartengruppen.

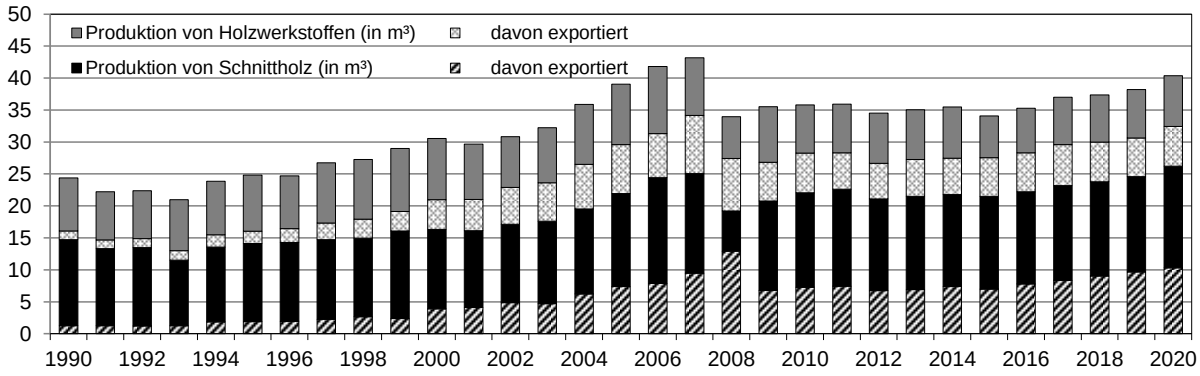
Die Berechnung der mit dem Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten verbundenen Kohlenstoffflüsse (8 und 9) sowie die sich daraus ergebende Änderung des Speichers, die in CRF-Tabelle 4.Gs1 berichtet wird, wird im nachfolgenden Kapitel 6.10.2 erläutert.

6.10.2 Methodische Aspekte (4.G)

6.10.2.1 Aktivitätsdaten

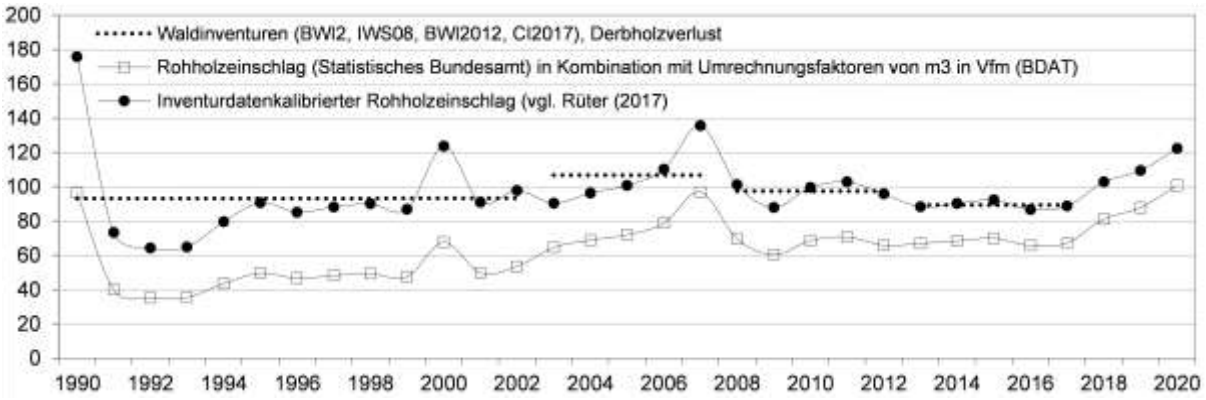
Abbildung 81 zeigt die Entwicklung der Produktionsmengen der Holzhalbwarengruppen Schnittholz und Holzwerkstoffe, getrennt nach den in Deutschland verbleibenden (Produktion abzüglich Export) und den exportierten Holzmengen (Export) seit 1990 nach den Daten der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAO, 2020). Diese Zeitreihen entsprechen den in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) vorgeschlagenen Daten für die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten auf Basis einer Tier-1-Berechnung (Kap. 12.2.1, IPCC (2006b): 12.9).

Abbildung 81: In Deutschland produziertes Schnittholz und Holzwerkstoffe [Mm³] (FAO, 2020)



Gemäß der IPCC Leitlinien wurde zunächst der Rohstoffanteil der Holzprodukte aus heimischem Holzeinschlag berechnet. Dafür wurde in einem ersten Schritt die nationale Holzeinschlagstatistik zu den fünf geführten Holzartengruppen(Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1) mit den Daten aus den Waldinventuren über den Abgang von Derbholz aus den Wäldern (vgl. Kapitel 6.4.2.1.1) entsprechend der methodischen Vorgaben des IPCC (2014) kalibriert (Abbildung 82) , da die Statistik den jährlichen Rohholzeinschlag um circa 30 % unterschätzt. Gründe für diese statistische Unterschätzung des Einschlags liegen sowohl in abhanden gekommenem bzw. ungenutztem Rohholz als auch in der Erzeugung von Brennholz z.B. durch private Haushalte (Selbstwerber), das nicht statistisch erfasst wird. Mit dieser Kalibrierung wird auch die methodische Konsistenz zur projizierten Zeitreihe des gemeldeten FMRL sichergestellt (s. Kapitel 11.5.3.4). Details über die weitere Verwendung der inventurdatenkalibrierten Zeitreihe zum Rohholzeinschlag in Millionen Vorratsfestmeter [Mfm] gemäß der Bestimmungen des IPCC et al. (2014a) finden sich in Rüter (2017).

Abbildung 82: Nationale Holzeinschlagstatistik und ihre Kalibrierung mittels Daten zum Derbholzverlust aus den Waldinventurdaten [Mfm] (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1) und Kapitel 6.4.2.1.1)



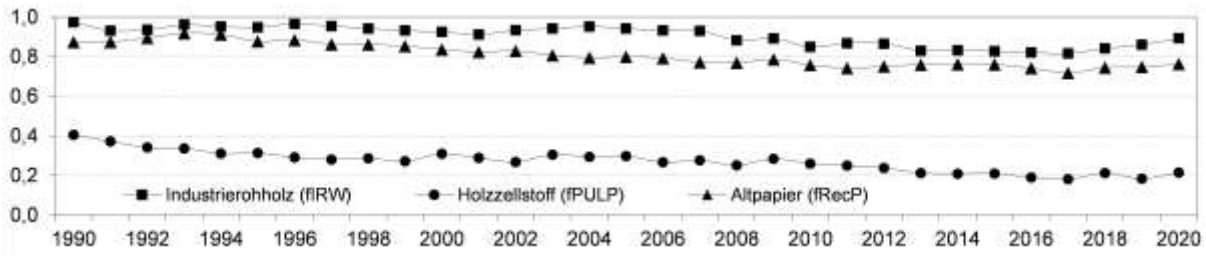
In einem zweiten Schritt wurde ein heimischer Rohstofffaktor $f_{DP}(i)$ bestimmt, der für die Halbwarenkategorien Schnittholz und Holzwerkstoffe auf den FAO-Daten zur Holzrohstoffkategorie Industrierohholz (industrial roundwood) basiert. Für die Berechnung des aus heimischem Einschlag stammenden Anteils der Produktkategorie Papier und Pappe, wurde neben der im 2013 IPCC KP Supplement IPCC et al. (2014a) vorgeschlagenen Rohstoffkategorie Holzzellstoff (wood pulp) auch die Verwendung von Altpapier bei der Papierherstellung berücksichtigt, da sich der Anteil von Altpapier in Papier und Pappe in Deutschland auf über 70% beläuft. Ebenso wie in den vorherigen Berichtsjahren wurde der Anteil *p* von Altpapier in Papierprodukten über das Verhältnis des rechnerischen Verbrauchs von Holzzellstoff und Altpapier in Deutschland ermittelt (vgl. Kapitel 6.10.5).

Neben den Faktoren für Industrierohholz (f_{IRW}) und Holzzellstoff (f_{PULP}), die gemäß der Gleichungen 2.8.1 und 2.8.2 des 2013 IPCC KP Supplement berechnet wurden (IPCC et al. (2014a): 2.115), wurde auf Basis der gleichen Vorgehensweise mit Hilfe von FAO Daten ein weiterer Faktor für Altpapier (recovered paper) ermittelt (f_{RecP}) (Abbildung 83). Dieser wurde bei der Berechnung der aus heimischem Einschlag stammenden Produktanteile mit Hilfe der Gleichung 2.8.4 des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al. (2014a): 2.118) für die HWP-Kategorie 'Papier und Pappe' mit

$$f_{DP}(i) = \{f_{IRW}(i) * (1-p) * f_{PULP}(i)\} + p * f_{RecP}(i)$$

berücksichtigt.

Abbildung 83: Entwicklung des heimischen Rohstofffaktors fDP(i) der berücksichtigten Rohstoffkategorien (FAO, 2020)



Abschließend wurde der in den Produkten enthaltene Kohlenstoff den jeweiligen Landnutzungsklassen zugeordnet, aus dem der Rohstoff stammt (IPCC et al. (2014a): Kap.

2.8.1.2). Hierfür lässt sich die inventurdatenkalibrierte Einschlagsmenge an Rohholz der verbleibenden Waldfläche (Quellgruppe 4.A.1, Kapitel 6.2.1) und den Flächen, die einer Landnutzungsänderung von Wald in andere Kategorien unterliegen, zuordnen (s. Tabelle 439), zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldung werden gemäß den Vorgaben des IPCC auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt (vgl. Kap. 2.8.3,). Holzprodukte aus Entwaldung werden gemäß den Vorgaben des IPCC auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt (vgl. Kap. 2.8.3, IPCC et al. (2014a)), so dass sich als Ergebnis der für Deutschland verfügbaren Inventurinformationen und der Gleichung 2.8.3 (IPCC et al. (2014a): 2.116) die jährlichen Holzeinschlagsanteile aus bewirtschafteten Waldflächen $f_{FM}(i)$ berechnen.

Tabelle 439: Jährlicher Anteil des Einschlags aus verbleibender Waldfläche

Zeitraum	$f_{FM}(i)$
1990 – 2002	0,98989
2003 – 2007	0,99202
2008 – 2012	0,98881
2013 – 2017	0,98137

6.10.2.2 Emissionsfaktoren

Für die Berechnung der Kohlenstoffabflüsse aus dem Kohlenstoffspeicher, werden die in Tabelle 2.8.2 des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) gelisteten Standardwerte verwendet, welche auf den in Tabelle 3a.1.3 der 2003 IPCC GPG (IPCC, 2003) genannten Werten beruhen.

6.10.2.3 Verwendete Berechnungsmethode

Für die Berechnung des Beitrags der stofflichen Holznutzung zur verzögerten Freisetzung von CO_2-Emissionen auf Basis von Kohlenstoffspeicheränderungen verwendet Deutschland die in den IPCC Leitlinien beschriebene exponentielle Zerfallsfunktion für die in Tabelle 2.8.1 des 2013 IPCC KP Supplement beschriebenen Produktkategorien. Dies entspricht der in den 2006 IPCC Leitlinien beschriebenen Standardmethode (Gleichung 12.1, IPCC (2006b):12.11) bzw. der unter Tier 2 beschriebenen Standardmethode im 2013 IPCC KP Supplement (Gleichung 2.8.5). Für die Kohlenstoffumrechnung werden für die Produktkategorien „Holzwerkstoffe“ die detaillierten und für die Kategorie „Papier und Pappe“ der aggregierte Wert der in Tabelle 2.8.1 enthaltenen Faktoren verwendet (IPCC et al., 2014a). Die Kohlenstoffmengen in den Produktkategorien ‚Laub- und Nadelschnittholz‘ werden auf Basis der in Rüter (2011) beschriebenen Faktoren berechnet (vgl. auch UNFCCC (2011)), um die in Deutschland typischerweise verwendeten Holzarten bei der Schnittholzherstellung abzubilden, die mit den Statistikdaten zum Holzeinschlag korrelieren (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1). Für Nadelschnittholz beträgt der Faktor 0,225 Mg C/m^3 und für Laubschnittholz 0,335 t C/m^3.

Da erst seit der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahr 1990 Zeitreihen zu Holzprodukten und den verwendeten Rohstoffkategorien mit ausreichender Datenqualität vorliegen und um mit den Daten verbundene Unsicherheiten zu reduzieren, wird der Anfangswert des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten auf Basis der Gleichung 2.8.6 (IPCC et al., 2014a) mit $C(t_0)$ = 1990 berechnet.

Weitergehende detaillierte Informationen zur verwendeten Methodik finden sich in Rüter (2017).

6.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.G)

Die Zeitreihen für die Aktivitätsdaten zu Holzprodukten aus der Datenbank der FAO sind konsistent und für die gesamte Berichtsperiode verfügbar. Die Unsicherheiten dieser Zeitreihen

belaufen sich nach Angaben in dem entsprechenden Kapitel des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) auf -25/+5 % (siehe auch Kapitel 11.3.1.5.3).

6.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.G)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Mit dem Berechnungsmodell WoodCarbonMonitor wurde bereits in 2011 der Beitrag von Holzprodukten zum Referenzwert für die zweite Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll auch für weitere EU Mitgliedsstaaten ermittelt. Nach einem Abgleich mit nationalen Daten und z. T. vorhandenen Modellen, verwendeten 16 weitere Länder die Daten zur Submission an das Klimasekretariat (Belgien, Bulgarien, Dänemark, Estland, Frankreich, Griechenland, Italien, Lettland, Litauen, Niederlande, Polen, Rumänien, Slowakei, Spanien, Tschechische Republik und Ungarn), wo sie in der Folge zusammen mit dem Modell und den zugrundeliegenden Annahmen von einem internationalen Expertenteam evaluiert wurden (Rüter (2011) und UNFCCC (2011)).

Die in der Folge notwendige Anpassung der gemeldeten Zeitreihen an die beschlossenen Berechnungsregeln für Holzprodukte gemäß Entscheidung 2/CMP.7 wurde im Rahmen der Erstellung des Kapitels 2.8 'Harvested Wood Products' im 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) ebenfalls mit dem Modell begleitet (Rüter et al. (2014)und Rüter (2017), s. Kapitel 3.2.2, 4.4 und Anhang).

Im Rahmen der Evaluierung der Referenzwert-Projektionen der EU Mitgliedsstaaten gemäß VO 2018/841 (European Parliament and Council of the European Union, 2018) wurde das Modell in 2019 wiederholt in Kombination mit dem Modell G4M verwendet, um im Auftrag der EU Kommission einen Abgleich der länderspezifischen Holzprodukte-Berechnungen inklusive der zugrundeliegenden Daten und Annahmen vornehmen zu können (Forsell et al. (2018) und Forsell et al. (2019)).

Weitere allgemeine Informationen zu der auch für Holzprodukte durchgeführten Qualitätskontrolle (QK) und Qualitätssicherung (QS) finden sich in Kapitel 6.1.3.

6.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.G)

Ebenso wie in den vorangegangenen Jahren wurden auch im laufenden Berichtsjahr die im Vorjahr verwendeten Daten des letzten verfügbaren Jahres in der FAOSTAT-Datenbank (hier: 2019) für mehrere Produktkategorien korrigiert, da die in der Produktionsstatistik enthaltenen Werte des jeweils aktuellen Meldejahres immer nur vorläufiger Natur sind und erst im darauffolgenden Jahr als endgültige Werte vorliegen (d.h. hier 2019 in FAO (2020)). Zugleich wurde die Zeitreihe zur Halbwarenkategorie Faserplatten als Teilmenge der Holzwerkstoffe in der FAOSTAT rückwirkend bis zum Jahr 1995 korrigiert. Dies wirkt sich ebenso auf die ermittelten Netto-Emissionszeitreihen aus, wie Rekalkulationen der für die Berechnung der Rohstofffaktoren verwendeten Rohstoffkategorien für das Jahr 2018 (vgl. Abbildung 81).

Die entsprechenden Änderungen gegenüber dem Vorjahr sind in Tabelle 440 abgebildet.

Tabelle 440: Gegenüberstellung der HWP Netto-CO_2-Emissionen in den Submissionen 2021 und 2022

	Netto-Emissionen [kt CO_2]	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Sub.2020	aus exportierten Holzwerkstoffen	-699	-2.691	-5.179	-2.567	-1.824	-1.756	-1.983	-1.840
	aus heimisch verbrauchten Holzwerkstoffen	-694	-1.066	-1.535	2.653	2.619	2.287	2.296	62
	aus exportiertem Papier und Pappe	-1.018	-1.236	-2.195	-817	-462	-69	29	162
	aus heimisch verbrauchtem Papier und Pappe	-189	-333	-361	265	412	587	601	-126
	aus exportiertem Schnittholz	-409	-1.911	-4.447	-3.207	-2.578	-3.017	-3.329	-3.902
	aus heimischem verbrauchtem Schnittholz	1	160	-1.526	-503	51	163	-18	-287
Sub.2021	aus exportierten Holzwerkstoffen	-380	-2.682	-5.122	-2.562	-1.706	-1.707	-1.856	-1.856
	aus heimisch verbrauchten Holzwerkstoffen	-733	-1.175	-1.361	1.724	2.054	1.740	1.435	251
	aus exportiertem Papier und Pappe	-	-	-	-	-	-	-	-480
	aus heimisch verbrauchtem Papier und Pappe	-	-	-	-	-	-	-	133
	aus exportiertem Schnittholz	-	-	-	-	-	-	-	-4.996
	aus heimisch verbrauchtem Schnittholz	-	-	-	-	-	-	-	-1.704

6.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.G)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

6.11 Andere Bereiche (4.H)

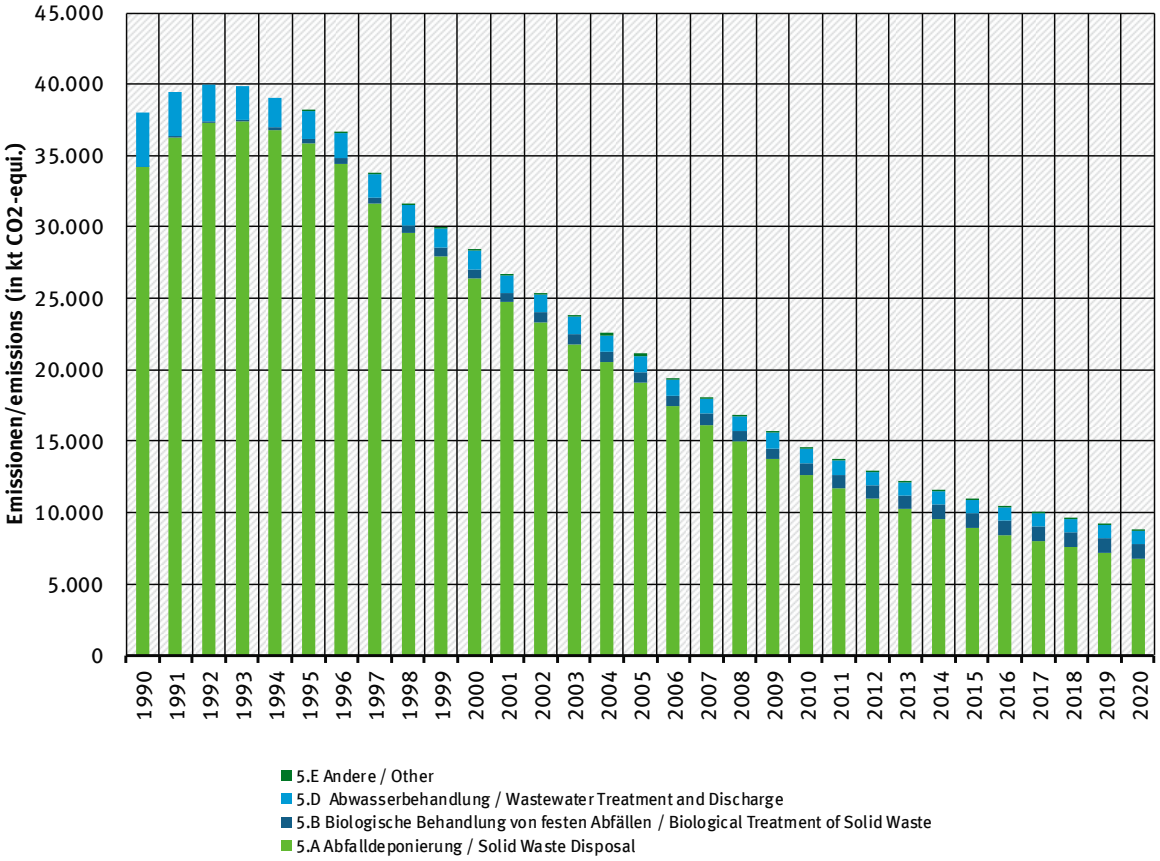
Unter 4.H werden behelfsmäßig N_2O-Emissionen, die durch die Bewirtschaftung organischer Böden verursacht werden, aus der Kategorie *Settlements* (162,23 kt CO2 eq für 2020)[136] für Tabelle 4 (II) berichtet, da die CRF-Tabellen des CRF Reporters diese so nicht vorsehen. CO_2- und CH_4-Emissionen werden behelfsmäßig als included elsewere (IE) in Tabelle 4 E berichtet. Die Ergebnisse werden im vorliegenden NIR im Kapitel Siedlungen ausgeführt (Kapitel 6.8.1).

[136] Im NIR 2021 wurden hier 28.399,4 kt CO2-Eq. für 2019 berichtet. Das ist ein Fehler. Der korrekte Wert für die Submission 2021 unter 4 H lautet 95,3 kt CO_2-Eq für 2019.

7 Abfall und Abwasser (CRF Sektor 5)

7.1 Übersicht (CRF Sektor 5)

Abbildung 84: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 5



7.2 Abfalldeponierung (5.A)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
L/T	5 A, Solid Waste Disposal		CH_4	34.200,2	2,7%	6.769,6	0,9%	-80,2%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie *Abfalldeponierung* ist für CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Für die deutsche Emissionsberichterstattung unter CRF 5.A ist nur die geordnete Deponierung (5.A.1) von Relevanz. Die so genannte wilde Deponierung (CRF 5.A.2) ist in Deutschland gesetzlich verboten.

7.2.1 Geordnete Deponierung – Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A.1)

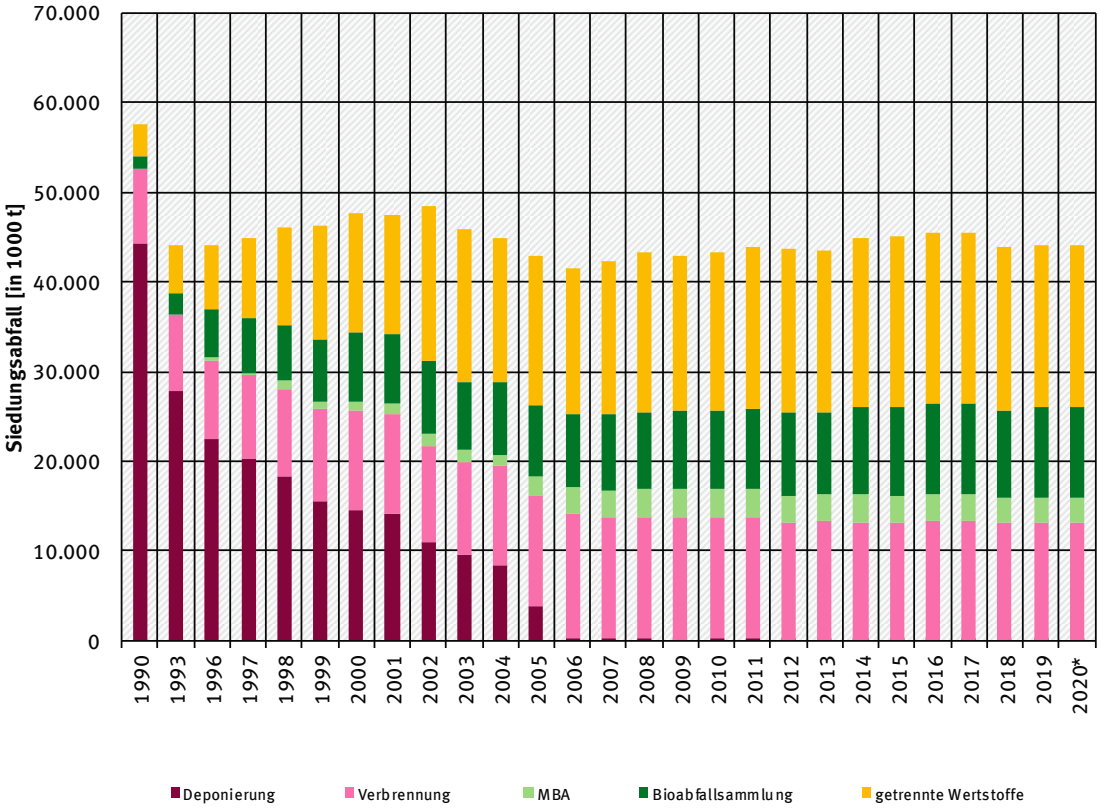
7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.A.1)

Seit 1990 und auch schon davor wurden in der Abfallwirtschaft in Deutschland eine Reihe von gesetzlichen Regelungen erlassen und organisatorische Maßnahmen in die Wege geleitet, welche die Entwicklung der Emissionen aus der Abfalldeponierung stark beeinflusst haben. Hierzu gehören die verstärkte Sammlung von Bioabfällen aus Haushalten und Gewerbe, die verstärkte

Sammlung von anderen Wertstoffen wie Glas, Papier/Pappe, Metalle und Kunststoffe und die getrennte Sammlung von Verpackungen und deren Verwertung. Daneben wurde die Verbrennung von Siedlungsabfällen ausgeweitet sowie die mechanisch-biologische Behandlung von Restabfällen eingeführt. Alle diese Maßnahmen hatten zur Folge, dass sich die Menge der deponierten Siedlungsabfälle von 1990 bis 2006 sehr stark reduziert hat (siehe Abbildung 85). Aus der Abbildung wird deutlich, dass in Deutschland heute mehr als die Hälfte der anfallenden Siedlungsabfälle stofflich verwertet wird (getrennte Wertstoffe und Bioabfallsammlung) und nicht verbrannt oder deponiert werden. Bei den Emissionen aus der Deponierung hat diese Veränderung aber nur einen sehr geringfügigen Einfluss auf die Gesamtemissionen im jeweils aktuellen Berichtsjahr, da diese vor allem durch die in der Vergangenheit abgelagerten Abfälle bestimmt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahre 2004 etwa 330 Deponien für Siedlungsabfall betrieben. Strenge rechtliche Anforderungen verlangten bereits zu diesem Zeitpunkt technische Einrichtungen zur Fassung und Behandlung des Deponiegases und gewährleisteten eine weitgehende Minderung der Methanemissionen dieser Anlagen. Durch die neuen, weitergehenden Anforderungen der Abfallablagerungs- und der Deponieverordnung wurden im Juni 2005 mehr als die Hälfte der Deponien geschlossen, so dass gegenwärtig nur noch etwa 150 Siedlungsabfalldeponien betrieben werden. Seit Juni 2005 ist zudem die Deponierung von biologisch abbaubaren Abfällen nicht mehr zugelassen, was bedeutet, dass eine Deponierung von Abfällen mit signifikanter Methanbildung seitdem nicht mehr erfolgt. Zur Einhaltung dieser Anforderungen ist eine Vorbehandlung der Siedlungsabfälle und anderer biologisch abbaubarer Abfälle durch thermische oder mechanisch-biologische Verfahren vorgeschrieben. Die Ablagerungen nach dem Jahr 2006 tragen daher nur gering und von diesen nur wenig Abfallkomponenten mit sehr geringem Methanbildungspotenzial (z.B. Behandlungsrückstände der MBA, geringe Holzgehalte aus aufbereitetem Bauschutt) zur Deponiegasbildung bei. Mit dem Abklingen der Deponiegasbildung älterer Ablagerungen werden sich die Methanemissionen aus Deponien nochmals sehr weitgehend mindern und langfristig auf einem sehr niedrigen Niveau stabilisieren.

Abbildung 85: Die Veränderung der Entsorgungspfade der Siedlungsabfälle ab 1990, mit Zwischenjahren



Mit der Minderung der Methanemissionen aus Deponien von rd. 1400 kt CH_4 im Jahr 1990 auf rd. 270 kt im Jahr 2020 leistete die Abfallwirtschaft in Deutschland einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz. Die Erfahrungen der deutschen Abfallwirtschaft zeigen, dass die Reduktion der abgelagerten Mengen biologisch abbaubarer Abfälle deutlich höhere Beiträge zum Klimaschutz erbringen kann als die Fassung und Behandlung des Deponiegases.

7.2.1.2 Methodische Aspekte (5.A.1)

In den *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC (2006b): *Kapitel 3.2.1.1)* basiert die Berechnung der CH_4-Emissionen aus der Deponierung auf der sogenannten „First Order Decay Methode“ (kurz: FOD-Methode). Die in Deutschland angewendete Detaillierung liegt zwischen Tier 2 und Tier 3. Die Tier 3 Methode erfordert nationale Aktivitätsdaten, sowielandesspezifische Werte für DOC, DOC_F und Halbwertzeiten (k-Werte). Deutschland verwendet derzeit nationale Aktivitätsdaten und DOC_F, aber nur teilweise landesspezifische DOC- und k-Werte. Für die fehlenden Werte verwendet Deutschland Default-Werte der IPCC-Guidelines.

Im Folgenden wird die FOD-Methode zur Bestimmung der Methanerzeugung auf Deponien und die verwendeten Parameter näher erläutert.
Die FOD-Methode wird nach den folgenden Gleichungen berechnet:

Gleichung 58: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.6)

$$CH_4\ erzeugt\ im\ Jahr\ t\ \left(\frac{kt}{Jahr}\right) = DDOCm\ decomp_t\ \times F \times 16/12$$

Mit:

CH_4 erzeugt:im Jahr t	*= Menge an CH4, welche durch die biologisch abbaubaren Abfälle erzeugt wird.*
DDOCm decomp$_T$	*= Masse des im Jahr T abgebauten abbaubaren DOC*
F	*= Anteil des CH_4 am Deponiegas*
16/12	*= stöchimetrische Umrechnung von C zu CH_4*
t	*= Inventarjahr*

Dabei gilt:

Gleichung 59: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.2)

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

Mit:

DDOCm	= Masse des abbaubaren und abgelagerten DOC, (kt)
W	= Masse des abgelagrten Abfalls, kt
DOC	= Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Jahr der Ablagerung (kt C/kt Abfall)
DOCf	= Anteil des DOC, der unter anaeroben Bedingungen biologisch abbaubar ist
MCF	= Methankorrekturfaktor für den Anteil des unter aeroben Bedingungen abgebauten DOC für das Jahr x

Nach den gesetzlichen Vorschriften ist in der alten Bundesrepublik seit 1972 nur noch eine geordnete Deponierung von Abfällen zulässig. Im Zuge der deutschen Wiedervereinigung wurden diese Standards 1989/90 auf die neuen Bundesländer übertragen. In der Inventarberechnung werden alle seit 1950 abgelagerten Abfälle berücksichtigt, unabhänig ob diese auf bereits stillgelegten oder noch betriebenen Deponien liegen

Für die Emissionsbeiträge aller Abfälle, die zwischen 1950 und 1972 abgelagert wurden, wird mit einem MCF von 0,6 gerechnet (Default-Wert für nicht zugeordnete Deponien, siehe Kapitel 7.2.1.2.3). Für den Zeitraum 1973-1989 wird für die neuen Bundesländer derselbe MCF von 0,6 und für die alten Bundesländer ein MCF von 1 angesetzt. Für die Emissionsberechnung im Inventar wird in diesem Zeitraum ein MCF ermittelt, der sich anhand der Gewichtung der jeweiligen Abfallmengen für Gesamtdeutschland ergibt. Die Emissionen aus den Abfällen die seit 1990 abgelagert wurden werden mit einem MCF von 1 berechnet.

Deutschland verwendet das IPCC Waste Model, das auf Basis der Gleichungen 3.4 und 3.5 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) entwickelt wurde. Dabei wird für jedes einzelne Jahr die Gesamtmenge an abbaubarem DOC in den Deponien berechnet um daraus die Menge an DOC zu berechnen, die in jedem Jahr zu CH_4 und CO_2 abgebaut wird:

Gleichung 60: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung

$$DDOCma_t = DDOCmd_t + (DDOCma_{t-1} * e^{-k})$$

mit:

t	*= Inventarjahr*
$DDOCma_t$	*= in der Deponie akkumulierte DDOCm am Ende des Jahres t, kt*
$DDOCma_{t-1}$	*= in der Deponie akkumulierte DDOCm am Ende des Jahres t-1, kt*
$DDOCmd_t$	*= in der Deponie abgelagerte DDOCm im Jahr t, kt*
k	*= Reaktionskonstante - Methanerzeugungsrate (1/Jahr) = $ln(2)/t_{1/2}$ (Jahr $^{-1}$)*
$t_{1/2}$	= Halbwertszeit (Jahr)

Gleichung 61: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, *Kapitel 3.2.1.1,* Gleichung 3.5)

$$DDOCm\ decomp_t = DDOCma_{t-1} \times (1 - e^{-k})$$

mit:

t = Inventarjahr

$DDOC\ decomp_t$ = in der Deponie im Jahr t abgebauter DDOCm, kt

Es wurde ein Multi-Phasen-Modell verwendet, das für die einzelnen Abfallfraktionen mit verschiedenen Halbwertszeiten rechnet und anschließend summiert.

Für das Endergebnis der CH_4-Emissionen wird dann das gefasste und abgefackelte oder energetisch genutzte Methan abgezogen, außerdem wird ein Korrekturfaktor angewandt, der die Oxidierung des Methans in den Deckschichten der Deponien berücksichtigt, wie Gleichung 3.1 (IPCC, 2006b) widerspiegelt:

Gleichung 62: *(2006 IPCC Guidelines, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.1)*:

CH_4 emittiert in Jahr t (kt/Jahr) = (CH_4 erzeugt in Jahr t – R(t)) • (1- OX)

Wobei:

R(t) = CH_4-Erfassung im Jahr t

OX = Oxidationsfaktor (Anteil)

Im IPCC Waste Model können die Nutzer einen Zeitraum bestimmen, in welchem der abgelagerte Abfall zunächst noch nicht mit der Gasbildung beginnt, sondern erst nach dieser zeitlichen Verzögerung. Der in den 2006 IPCC Richtlinien (IPCC, 2006b) empfohlene Standardwert für diese Verzögerungszeit beträgt 6 Monate. Nach Diskussionen mit nationalen Abfallexperten und basierend auf Erfahrungen mit gemessener CH_4-Entstehung nach erfolgter Ablagerung wurde dieser Wert auf 3 Monate festgelegt. Die Emissionsberechnung wird hierdurch nur geringfügig beeinflusst.

Für die Berechnung müssen die Mengen an Siedlungsabfall (MSW_T) sowie der Anteil des deponierten Siedlungsabfalls (MSW_F) bestimmt werden. Für die FOD-Methode muss das Aufkommen an Siedlungsabfall für die letzten Dekaden ermittelt werden. Der deponierte Siedlungsabfall sollgemäß der 2006 IPCC Guidelines (ebd.) differenziert nach Abfallarten geschätzt werden, da die Emissionsberechnungen im Weiteren darauf basieren, dass die einzelnen Abfallarten unterschiedliche DOC-Werte aufweisen.

7.2.1.2.1 Deponierte Abfallmengen

Das FOD-Modell berechnet die Emissionen aus dem deponierten Siedlungsabfall, dem deponierten Industrieabfall und dem deponierten Klärschlamm.

Das Aufkommen dieser deponierten Abfälle wird den Statistiken des Statistischen Bundesamtes entnommen. Daten bis zum Jahr 2018 wurden vom Statistisches Bundesamt (FS 19, R1). Die Veröffentlichung der FS 19, R1 wurde danach eingestellt. Die für die Berichterstattung erfordelichen Daten ab 2019 werden dem Umweltbundeamt aber im unveränderten Tabellenformat für die Berichterstattung zur Verfügung gestellt. Hierfür findet eine Totalerhebung statt., die auf jährlichen Erhebungen der Art, Herkunft und Verbleib der Abfälle und auf zweijährigen Erhebungen bestimmter Ausstattungsmerkmale der befragten Abfallanlagen beruhen. Die Aktivitätsdaten für das jeweils aktuelle Berichtsjahr müssen allerdings geschätzt werden, da die offizielle Abfallstatistik mit einem Jahr Verzug erscheint. Zur Abschätzung werden die Daten der letzten zwei Vorjahre extrapoliert. Die Schätzung wird im

jeweils folgenden Jahr durch die statistisch erhobene Zahl ersetzt. Regelmäßige Rückrechnungen sind daher jährlich für das vorvergangene Jahr erforderlich.

Die Erhebungen der deponierten Mengen an Siedlungsabfällen in den alten Bundesländern begannen auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes von 1974 im Jahr 1975. Die Abfallmengen für den Zeitraum von 1950 bis 1975 wurden auf Grundlage der Bevölkerungsdaten extrapoliert.

Für die neuen Bundesländer liegen für die Jahre 1990 und 1993 nach Bundesländern differenzierte Daten zu den deponierten Siedlungsabfallmengen vor. Für die 80er Jahre der DDR hat Andreas (2000) Daten vorgelegt, die Aufschluss über die deponierten Abfallmengen pro Kopf, die Abfallzusammensetzung, die Deponietypen und die Art der Ablagerung gibt. Die deponierten Abfallmengen pro Kopf lagen mit 190 kg/Person in der ehemaligen DDR deutlich niedriger als in den alten Bundesländern (330 kg/Person, Jahr). Dies hängt mit einem hohen Verwertungsgrad der Abfälle in der ehemaligen DDR zusammen. 1990, im Jahr der Wiedervereinigung, stiegen die deponierten Abfallmengen in den neuen Bundesländern sehr stark und die Pro-Kopf-Mengen lagen sogar über den alten Bundesländern, weil in diesem Jahr einerseits die bestehenden Verwertungssysteme zusammenbrachen, andererseits eine Flut neuer Produkte verfügbar war, die zu hohen Ersatzkäufen und zu einer stark erhöhten Menge an Verpackungsabfällen führte. Nach 1990 nähern sich dann die Abfallmengen pro Person in beiden Teilen Deutschlands langsam an.

In den Inventarberechnungen sind die abgelagerten Klärschammengen der alten und neuen Bundesländer (frühere Bundesrepublik und ehemalige DDR) für den gesamten Zeitraum ab 1950 enthalten. Für die Ablagerungen in den neuen Bundesländern/DDR liegen keine statistischen Daten vor. Die Abfallzusammensetzung (auch der Klärschlammanteil) wurde aus Ergebnissen eines Forschungsprojektes abgeschätzt, in dem in den 1990er Jahren das Abfallinventar von DDR-Deponien untersucht wurde.

Die nicht verwerteten Abfallmengen wurden in der ehemaligen DDR vollständig deponiert.

Die deponierten Abfallmengen aus der Industrie zwischen 1975 und 1996 wurden auf Basis der gesamten deponierten Abfallmengen abgeleitet. Die Gesamtmengen umfassen die Industrieabfälle, weisen diese allerdings nicht gesondert aus. Seit 1996 veröffentlicht das Statistische Bundesamt differenzierte Daten zur Abfalldeponierung in der Industrie. Im Inventar werden die deponierten Abfallmengen aus folgenden Industriebranchen berücksichtigt:

- Abfälle aus der Landwirtschaft, Gartenbau, Forstwirtschaft, Fischerei und der Verarbeitung von Nahrungsmitteln
- Abfälle aus der Holzverarbeitung
- Abfälle aus der Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton
- Abfälle aus der Textilindustrie
- Verpackungsabfälle, Aufsaug- u. Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung
- Die Holzanteile aus Bau- und Abbruchabfällen (Daten seit 1975)

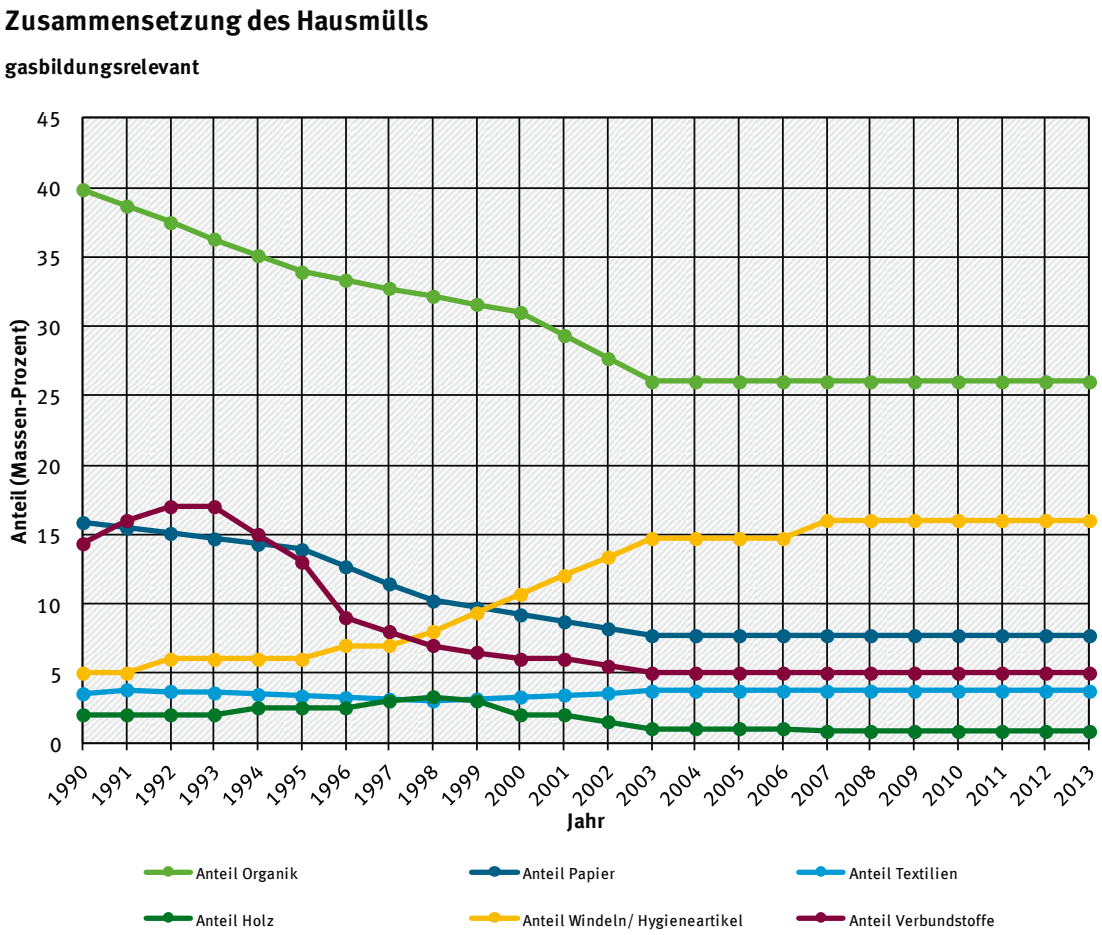
Extrapolationen zwischen Abfallaufkommen und Produktionsdaten der betroffenen Sektoren für den Zeitraum 1996 bis 2002 ergaben keine befriedigenden statistischen Zusammenhänge. Während die Produktionsdaten steigen, sank das Abfallaufkommen teilweise deutlich, weil Veränderungen in den Produktionsprozessen stattfanden. Aufgrund des fehlenden statistischen Zusammenhanges wurden die deponierten Abfallmengen zwischen 1950 und 1975 konstant gehalten. Auf die Emissionen des Basisjahres wirken sich Veränderungen der Annahmen zu den industriellen Abfällen im Zeitraum 1950 bis 1970 nur sehr marginal aus.

Für den gesamten Zeitraum ab 1950 liegen damit für alle zu berücksichtigten Abfälle, einschließlich Klärschlämme, vollständige und durchgängige Datenreihen vor, die auf den für die jeweiligen Zeiträume besten verfügbaren Grundlagen beruhen.

7.2.1.2.2 Abfallzusammensetzung

Die Inventarberechnungen gemäß FOD-Methode erfordern eine Aufteilung in die deponierten Abfallfraktionen Organik, Garten- und Parkabfälle, Papier, Holz, Windeln und Textilien, Verbundstoffe, Klärschlamm und MBA Output. Diese sind teilweise separat in der Abfallstatistik ausgewiesen, allerdings enthält die Statistik auch eine deponierte Menge an gemischten Siedlungsabfällen, die für die Berechnungen in die oben genannten Fraktionen aufgeteilt werden muss. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Studien zur Abfallzusammensetzung der gemischten Siedlungsabfälle ausgewertet, um die Abfallfraktionen (Organik, Garten- und Parkabfälle, Papier, Holz, Windeln und Textilien, Verbundstoffe) im historischen Verlauf zu bestimmen. In den Jahren 1980 und 1985 wurde die Abfallzusammensetzung der gemischten Abfälle für das gesamte Gebiet der ehemaligen Bundesrepublik ermittelt (Barghorn et al., 1986; Greiner et al., 1983). Für den nachfolgenden Zeitraum gibt es eine sehr große Zahl an Studien einzelner Städte, Landkreise oder Bundesländer, die teilweise bereits in übergreifenden Studien ausgewertet und zusammengefasst wurden. Aus diesen Angaben wurden Zeitreihen der Abfallzusammensetzung zwischen 1980 und 2013 bestimmt (siehe Abbildung 86) für deren Ableitung eine Auswertung vorhandener Studien sowohl für Hausmüll, als auch für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und für Sperrmüll durchgeführt wurde (diese werden in den nationalen Statistiken getrennt ausgewiesen). Im Jahr 2014 wurde die bisherige Auswertung an Studien zur Abfallzusammensetzung überprüft und neuere Studien über die Restmüllzusammensetzung für den Zeitraum 2006 bis 2013 recherchiert (6 Studien) und ausgewertet. Diese neueren Studien bestätigten die bisherigen Annahmen zur Zusammensetzung der gemischten Müllfraktionen, so dass diese ab 2014 konstant fortgeschrieben wurden. Aufgrundder weiter oben geschilderten gesetzlichen Veränderungen ist die Deponierung von gemischtem Siedlungsabfällen nach 2005 sehr stark zurückgegangen (von 5,8 Mio. Tonnen im Jahr 2004 auf 2000 Tonnen im Jahr 2013). Aus diesem Grund ist die genaue Erfassung der Restmüllfraktionen für den Zeitraum ab 2005 auch weniger relevant und es wurden von Bund, Ländern, Landkreisen und Städten eine geringere Zahl von Untersuchungen zur Zusammensetzung in Auftrag g egeben.
Für die Abfallzusammensetzung der neuen Bundesländer wurden die Angaben aus Andreas (2000) für die 80er Jahre der ehemaligen DDR übernommen (Zusammensetzung des Hausmülls: 28 % Vegetabilien, 14 % Papier/Pappe, 2.3 % Holz, Gummi, Verbundstoffe, 3 % Textilien; der Hausmüll machte aber nur 16 % der gesamten deponierten Abfallmengen aus). Die deponierten Siedlungsabfälle in der ehemaligen DDR sind durch einen geringeren Anteil an biologisch abbaubaren Materialien und durch hohe anorganische Fraktionen (vor allem Asche aus dem Hausbrand) charakterisiert. Nahrungsmittelabfälle wurden gesammelt und als Futtermittel verwertet, deren Verfügbarkeit während bestimmter Zeiträume knapp war. Papier wurde gesammelt und war ebenfalls eine knappe Ressource. Holz und Papier wurden häufig in Öfen zu Heiz- und Kochzwecken verfeuert. Das SERO-Verwertungssystem erfasste effizient den relativ geringen Anteil an Kunststoffverpackungen, Glas gab es in Pfandsystemen bzw. wurde ebenfalls gesammelt. Insgesamt war die Ökonomie der ehemaligen DDR vor allem durch die Knappheit von Ressourcen gekennzeichnet, was zu einer effizienten Abfallverwertung führte. Die deponierten Abfallmengen der Haushalte bestanden zu großen Anteilen aus Asche aus dem Hausbrand.

Abbildung 86: Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls zwischen 1990 und 2013



Die auf Deponien abgelagerten Abfallmengen werden vom Statistischen Bundesamt getrennt nach Abfallschlüssel erfasst. Für die Emissionsberechnung werden alle Abfallarten, die zur Deponiegasbildung beitragen können, einbezogen und jede Abfallart getrennt auf die Abfallzusammensetzung beurteilt. In Tabelle 441 sind alle für die Deponiegasbildung relevanten Abfälle enthalten, für die Bau- und Abbruchabfälle sind die Holzfraktionen berücksichtigt. Die gefassten Deponiegasmengen beruhen auf Daten der offiziellen Statistik.

Seit dem 1. Juni 2005 dürfen in Deutschland nur noch Abfälle mit einem Gesamtkohlenstoff-gehalt < 3 % und mechanisch-biologisch behandelte Siedlungsabfälle abgelagert werden. Die nach diesem Zeitpunkt abgelagerten Abfallmengen sind stark zurückgegangen und tragen nur noch in sehr geringem Maße zur Gasbildung bei. Tabelle 441 beschreibt die Entwicklung der Mengen der biologisch abbaubaren Abfälle, die deponiert wurden. Für das aktuelle Inventarjahr liegen regelmäßig noch keine Daten vor, weshalb die Entwicklung der Abfallmengen und –zusammensetzungen der letzen zwei Vorjahre linear extrapoliert und im folgenden Jahr rekalkuliert werden.

Tabelle 441: Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, nach Abfallfraktionen

Abfallfraktion	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Organik	[kt]	16.844	7.515	3.202	813	6	1	2	1	0	0	0
Garten- und Parkabfälle	[kt]	0	0	54	26	0	0	0	0	2	0	0
Papier	[kt]	9.095	4.372	1.421	426	7	1	4	9	8	5	3
Holz	[kt]	2.658	1.889	1.037	238	0	0	0	0	0	0	0
Windeln + Textilien	[kt]	3.572	2.082	2.241	519	5	2	3	2	2	1	1
Verbundstoffe	[kt]	5.587	2.644	621	155	1	0	0	0	0	0	0
Klärschlamm	[kt]	2.494	1.024	452	634	27	81	57	16	26	40	54
MBA-Output	[kt]	0	0	370	1170	991	714	618	610	515	508	500

2011/12 wurden die Restgasemissionen aus der Ablagerung mechanisch-biologische behandelter Abfälle in einem Sachverständigengutachten (Stegmann & Partner, 2012) quantifiziert. Das Gutachten bestätigt die in der Emissionsberechnung ermittelten geringen Emissionsbeiträge aus der Ablagerung der MBA Abfälle und damit die in der Berechnung verwendeten nationalen Werte. Das Verfahren der mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) wird in Kapitel 7.6.1 beschrieben.

Entsprechend der Empfehlungen aus der Inventarüberprüfung 2010 (Paragraph 146, UNFCCC (2010)) werden seit der Berichterstattung 2011 zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt. Tabelle 442 stellt die deponierte Abfallmenge und Tabelle 451 das Gasammtaufkommen an Siedlungsabfällen, jeweils pro Kopf und Tag, ab 1990 dar.

In Deutschland hat die Deponierung von Siedlungsabfällen seit 2005 sehr stark abgenommen; dieser Trend spiegelt sich auch in der Pro-Kopf-Menge des deponierten Hausmülls wider. Diese Abfälle werden nahezu vollständig in Verbrennungsanlagen (Abfallverbrennungsanlagen oder Mitverbrennung in industriellen Feuerungsanlagen) und mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) entsorgt. Die Pro-Kopf-Menge bei Siedlungsabfällen ist im wesentlichen konstant geblieben.

Tabelle 442: Pro-Kopf-Mengen an deponierten Hausmüll

	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,604	0,855	0,551	0,181	0,041
	Einheit	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,031	0,025	0,025	0,021	0,020
	Einheit	**2020**				
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,019				

Tabelle 443: Pro-Kopf Mengen an Siedlungsabfall

	Einheit	1995	2000	2005	2010	2015
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,715	1,776	1,568	1,680	1,693
	Einheit	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,731	1,714	1,659	1,668	1,693

7.2.1.2.3 MCF (Methankorrekturfaktor)

Abfälle wurden in der Bundesrepublik Deutschland bis zur Schaffung des ersten Abfallgesetzes 1972 zumeist auf ungeordnete Deponien gebracht, die nach 1972 geschlossen wurden. Nach 1972 wurden die Abfälle auf geordnete Deponien verbracht. Für den MCF wird daher bis 1972 für die ABL der Default-Wert von 0.6 für „nicht zugeordnete Deponien“ angenommen (Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006b), nach 1972 der Default-Wert für geordnete anaerobe Doponien von 1 genutzt.

Für das Gebiet der ehemaligen DDR liegt eine Erhebung aus dem Jahre 1989 vor, nach der 120 geordnete Deponien, ca. 1000 kontrollierte Ablagerungen und ca. 10.000 wilde Müllkippen erfasst wurden (Institut für Umweltschutz (1990): S. 56, Tabelle 12). Für das Gebiet der ehemaligen DDR wurde daher für den Zeitraum von 1950 bis 1989 ein MCF von 0.6 (Default-Wert für nicht zugeordnete Deponien; Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006b) angenommen. Mit der

Wiedervereinigung wurde das bundesdeutsche Abfallgesetz auf die Gebiete der Neuen Bundesländer ausgedehnt und Übergangsregelungen stellten sicher, dass sowohl stillgelegte als auch in Betrieb befindliche Anlagen, in denen Abfälle erzeugt oder entsorgt wurden bzw. werden, erfasst wurden und dass erforderliche Sanierungsmaßnahmen eingeleitet wurden (BMU (1990): S. 46). Wilde Mülldeponien wurden 1990 geschlossen, weiter zu betreibende Anlagen wurden gesichert, saniert und nach Standard des bundesdeutschen Abfallrechtes ausgebaut sowie neue Standorte für neu zu errichtende Anlagen gesucht.

Ab dem Jahr 1990 erfasst das Statistische Bundesamt beide Gebietsteile. Für die Berechnung wird nach 1990 ein MCF von 1 (Default-Wert für geordnete anaerobe Deponien) für das gesamte Bundesgebiet angenommen. Der IPCC Default Wert für geordnete anaerobe Deponien wird von den Experten des Umweltbundesamtes als geeigneter Wert für Deponien in Deutschland eingestuft.

7.2.1.2.4 DOC

Für DOC, den Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Abfall, werden nationale Daten sowie Default-Faktoren des IPCC verwendet. Alle DOC-Werte beziehen sich auf feuchten Abfall, da die statistischen Daten der abgelagerten Mengen in Deutschland für feuchte Abfälle erhoben werden. Eine Übersicht über die verwendeten DOC-Werte ist in Tabelle 444 enthalten.

Auf Basis von Reviewergebnissen aus dem ARR 2015/2016 und 2018 bemühte sich Deutschland intensiv darum die Quellen für die in Tabelle 444 wiedergegebenen Daten zu eruieren:

- Für Garten- und Parkabfälle, Papier und Pappe, Holz und Stroh, Textilien und Windeln werden IPCC Default-Werte genutzt (Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006b). Für diese Abfälle liegen keine ausreichend belastbaren nationalen Werte vor. Die Default-Werte werden von Experten des Ökoinstitutes und des Umweltbundesamtes in ihrer Größenordnung als realistisch beurteilt.
- Der DOC für Organik wurde aus nationalen Untersuchungen (Wallmann, 1999) übernommen und ist mit 18 % etwas höher als der Default-Wert.
- Für Verbundstoffe enthalten die Guidelines keine Default-Werte. Der nationale Wert wurde in einem Forschungsprojekt zur Vorbereitung des ICR 2010 vom Forschungsnehmer (Öko-Institut) auf 10 % geschätzt und während des ICR vom zuständigen IPCC-Experten akzeptiert.
- Für Klärschlamm geben die 2006 IPCC Guidelines (Chap. 2.3.2, (IPCC, 2006b) bezogen auf die Trockenmasse einen Default DOC von 50% an. In Deutschland wurden zwischen den 1980er Jahren und 2005 nahezu ausschließlich mechanisch entwässerte Klärschlämme mit einem durchschnittlichen Trockenmassegehalt von etwa 30% abgelagert. Auf Basis dieses durchschnittlichen Trockenmassegehaltes der deponierten kommunalen und industriellen Klärschlämme und des Default-Wertes für trockenen Klärschlamm wurde ein DOC Mittelwert von 15% abgeleitet und für den Zeitraum bis 2005 als nationaler Wert genutzt. Seit dem 1. Juni 2005 dürfen in Deutschland nur noch Abfälle mit einem Gesamtkohlenstoffgehalt < 3 % auf Deponien abgelagert werden. Dies gilt auch für Klärschlamm, so dass ab 2006 mit einem nationalen Wert für DOC von 3% DOC gerechnet wird.

- Für mechanisch-biologisch behandlte Abfälle (MBA-Abfälle) enthalten die Guidelines keine Default-Werte. Eine vom Umweltbundesamt beauftragte Studie (Stegmann & Partner, 2012) zeigt, daß mit der mechanisch-biologischen Behandlung die DOC-Gehalte der Abfälle sehr weitgend reduziert werden. Nach einer solchen Behandlung enthält die Deponiefraktion weniger als 10 % des ursprünglich in den behandelten Abfällen enthaltenen prozentualen DOC-Gehaltes. In MBA wird das gesamte Spektrum der Restsiedlungsabfälle und hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle behandelt. Der durchnittliche DOC der mechanisch- biologisch behandelten Abfälle wird auf 23 % geschätzt, bei einer 90 % Reduktion im Behandlungsprozess ergibt sich ein nationaler DOC-Wert von 2,3 % in den abgelagerten MBA Abfällen.

Tabelle 444: Verwendete DOC-Werte

Fraktion	DOC-Werte		Quelle
	IPPC 2006 Default (wet waste)	Verwendet	
Organik	15 %	**18%**	(Wallmann, 1999)
Garten- und Parkabfälle	20 %	**20%**	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006b)
Papier und Pappe	40 %	**40%**	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006b)
Holz und Stroh	43 %	**43%**	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006b)
Textilien	24 %	**24%**	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006b)
Windeln	24 %	**24%**	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006b)
Verbundstoffe	k.A.	**10%**	In Country Review 2010 (Öko-Institut)
Klärschlamm	50 % (trocken)	bis 2005 **15%** ab 2006 **3%**	Rechnerisch aus IPCC default für Klär-schlamm, bezogen auf Trockenmasse, ermittelt; nach 2006 wird ein DOC von 3% angenommen
MBA Abfälle	k.A.	**2,3%**	Nationaler Wert (10 % des durchschnit-tlichen DOCs der deponierten Fraktionen aus dem aktuellen Jahr); (Stegmann & Partner, 2012)

7.2.1.2.5 DOC_F

DOC_F, der Anteil des in Deponiegas umwandelbaren DOC, wird für Siedlungsabfall mit 50 % angenommen, was auf einer nationalen Studie (Rettenberger et al. (1997): S. 277) basiert. Dieser Wert liegt im Rahmen der IPCC Defaults von 0.5 (Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006b)).

7.2.1.2.6 F = Anteil des CH_4 am Deponiegas

Für F wird bei der Berechnung der Methanbildung der IPCC Default-Wert von 50% über die gesamte Zeitreihe verwendet (ebd.). Dieser Wert wurde durch ein nationales Forschungsvorhaben bestätigt (Schön et al., 1993).

Tabelle 445: Anteil CH_4 am Deponiegas

Anteil CH_4 am Deponiegas	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Deponien in Ablagerungs- und Stillegungsphase	49 %	50 %	49 %	48 %	48 %	47 %	45 %	42
Deponien in Nachsorgephase	k.A.	k.A.	k.A.	42 %	40 %	38 %	32 %	32 %

Quelle: (Statistisches Bundesamt, 2018) , Tabelle 1.5

In den letzten Jahren sind die Methankonzentrationen im gefassten Deponiegas (Tabelle 445) allerdings rückläufig. Dieser Rückgang der Methankonzentrationen ist vermutlich auf Oxidationseffekte die durch das Gasfassungssystemenverursacht werden zurückzuführen, wobei sich dieser Effekt mit rückläufiger Gasbildung zunehmend verstärkt.

7.2.1.2.7 Halbwertszeit

Das Berechnungsmodell ist ein Multi-Phasen-Modell, das die unterschiedlichen Halbwertszeiten der verschiedenen Abfallfraktionen berücksichtigt. Tabelle 446 dokumentiert die verwendeten Halbwertszeiten sowie die Methanerzeugungsrate für die Abfallfraktionen. Um der Empfehlung aus der Inventarüberprüfung in 2010 zu entsprechen (Paragraph 146, FCCC/ARR/2010/DEU), wurden für die Berichterstattung ab 2011 zusätzliche Informationen aufbereitet. Die konstante Methanerzeugungsrate, die in der FOD-Methode auftaucht, entspricht der Zeit, die für die Zersetzung des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Abfall auf die Hälfte seiner Ausgangsmasse benötig wird. Sie kann daher aus den jeweiligen Halbwertszeiten der unterschiedlichen Fraktionen entsprechend Gleichung 63 abgeleitet werden.

Die geringfügigen Unterschiede der k-Werte zwischen default und nationalen Werten basieren auf dem folgenden Umstand: Die früheren Versionen der IPCC-Tabellen zur Schätzung der Methanemissionen aus der Deponierung fester Abfälle aus Deponien basierten auf den Halbwertszeiten (die bei der Veröffentlichung der IPCC-Richtlinien 2006 verteilten Versionen) und erst später wurde dies in anderen Versionen des IPCC-Tabellenmodells geändert. In der Auswahl für Parameter konnte man in dieser Version nur Halbwertszeiten und keine k-Werte auswählen (leider ist keine Versionsnummerierung als Teil der Datei vorgesehen). Die ursprüngliche Version des IPCC-Tabellenmodells beinhaltet auch ein Tabellenblatt „Halbwertszeit“ mit einer eingebetteten Berechnung von k-Werten auf Basis von Halbwertszeiten und umgekehrt. Somit sind die in Tabelle Tabelle 446 dargestellten Halbwertszeit-Standardwerte die in der frühen Version des IPCC-Tabellenmodells dargestellten Standardparameter. Die in dieser Tabelle dargestellten k-Werte stellen das Ergebnis der Berechnung von k auf der Grundlage der Standard-Halbwertszeiten bei Verwendung des eingebetteten Kalkulationstools im Tabellenmodell dar. Bis zum ARR 2018 wurde davon ausgegangen, dass die grundlegende Konvertierung im IPCC-Tabellenwerkzeug korrekt dargestellt ist, weshalb die durchgeführten Rundungen daher bis dahin nicht überprüft worden sind. Im ARR wurde nun auf Inkosistenzen hingewiesen. Der Grund dafür ist auf Unterschiede zwischen Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 der IPCC-Richtlinien 2006 zurückzuführen. Wir haben die Werte der Tabelle 3.4 für Lebensmittelabfälle und Klärschlamm verwendet, die 4 Jahre betragen. Dies entspricht einem k von 0,173. In Tabelle 3.3 ist k für Lebensmittelabfälle jedoch 0,185 (und nicht 0,173), was einer Halbwertszeit von 3,747 entspricht. Somit sind die Tabellen 3.3 und 3.4 für Lebensmittelabfälle und Klärschlamm inkonsistent (alle anderen Werte sind korrekt). Da wir die Berechnung auf der Grundlage des älteren Tabellenmodells begonnen haben, haben wir Tabelle 3.4 feuchtes gemäßigtes Abfallklima als Grundlage für die Berechnungen verwendet.

Zur Berechnung wurden die weitgehend an den IPCC Default Werten orientierten nationalen Werte genutzt. Nach Einschätzung der Experten im Umweltbundesamt ergeben diese nationalen Werte im Berechnungsmodell realistische Ergebnisse zur Methanbildung von Deponien, auf denen biologisch abbaubare Abfälle abgelagert werden. Bei Deponien auf denen über längere Zeiträume keine biologisch abbaubaren Abfälle mehr abgelaget wurden ist zunehmend erkennbar, dass die aktuelle Berechnung zu einer Überschätzung der Methanbildung führern, die eine Überprüfung und Anpassung der Halbwertszeiten bzw. K-Werte erfordern.

Die aktuell resultierenden Abweichungen von den Vorgaben sind minimal und werden sich ohnehin mit der angekündigten Weiterentwicklung (siehe Kapitel 7.2.1.6) ausgleichen. Aus diesem Grund wurde vom zuständigen Reviewexperten im ARR 2018 entschieden, dass mit der Anpassung der Berechnung, auf die Ergebnisse der anhängigen Forschungsvorhaben gewartet werden kann.

Gleichung 63: (2006 IPCC Guidelines)

$$k = \ln 2 / t_{1/2}$$

Tabelle 446: Halbwertszeiten und konstante Methanerzeugungsrate der Abfallfraktionen

Abfallart	Halbwertszeit (Jahre)		CH4 Erzeugungsrate (k-Wert)	
	IPCC Default Wert*	Nationaler Wert	IPCC Default Wert*	Nationaler Wert
Nahrungsmittelabfälle	4		0.185	0,173
Garten/Parkabfälle	7		0,1	0,099
Papier / Pappe	12		0,06	0,058
Holz	23		0,030	0,030
Textilien / Windeln	12		0,06	0,058
Verbundstoffe	--	12	---	0,058
Klärschlamm	4		0.185	0,173
MBA-Abfälle	--	12	--	0,058

* Wet temperate

7.2.1.2.8 Deponiegasnutzung

Mit der TA Siedlungsabfall von 1993[137] wurde die Gasfassung auf den Siedlungsabfalldeponien Teil der Genehmigungsvoraussetzung. In der Neufassung des Umweltstatistikgesetztes in 2005 wurde verankert, dass das Statistische Bundesamt künftig die Deponiegaserfassung in seinen Umfragen berücksichtigt und veröffentlicht. Für die Jahre 2004, 2006 und 2008 wurden in der Fachserie 19 vom 12.07.2012 nur Daten zur Deponiegasfassung und -nutzung auf Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase veröffentlicht. Daten zur Gasfassung für den gesamten Deponiebestand, d.h. einschließlich der Deponien in der Nachsorgephase wurden erstmals für das Jahr 2010 erhoben. Für die Berechnung der gefassten Deponiegasmengen werden vom statistischen Bundesamt Daten für das gefasste Deponiegasvolumen und dem Methananteil in Vol.-% erhoben. Der Methananteil entspricht den in Kapitel 7.2.1.2.6 wiedergegebenen Werten (dort zur Verifikation enthalten). Aus diesen Daten werden die gefassten Methangasmengen für die Klimaberichterstattung im NIR berechnet.
In Deutschland müssen Deponiebetreiber aufgrund der Monitoringanforderungen der Deponieverordnung die gefassten Deponiegasmengen und die Methangehalte im Deponiegas messen und in Jahresberichten dokumentieren. Entsprechende Daten werden vom statischen Bundesamt auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes alle zwei Jahre erhoben.
Aus diesem Grund ist für den NIR auch keine Rückrechnung des gefassten Deponiegases aus Energiedaten notwendig.

Bis einschließlich 2010 wurden bei der Ermittlung der gesamten gefassten Deponiegasmengen - aufgrund der oben beschriebenen Datenlücken - Daten aus dem Energiesektor und der Fachserie 19 zusammengeführt.

Die in Tabelle 447 gelisteten gefassten Methanmengen beinhalten die energetsch genutzen und die abgefackelten Deponiegasmengen.

[137] Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von >Siedlungsabfälle (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993

Tabelle 447: Methanfassung auf Deponien

Jahr	Methanbildung in Gg	Gefasste Methanmenge in Gg			Erfassungsrate in %
		Ablagerungs- u. Stillegungsphase in Gg	Nachsorgephase in Gg	Gesamtmenge in Gg	
1990	1614			94	5,8
1991	1715			105	6,1
1992	1772			115	6,5
1993	1787			125	7,0
1994	1770			136	7,7
1995	1738			146	8,4
1996	1690			160	9,5
1997	1629			222	13,6
1998	1559			242	15,5
1999	1490			247	16,6
2000	1423			251	17,6
2001	1353			252	18,7
2002	1288			254	19,7
2003	1222			254	20,8
2004	1158	236	11	247	21,3
2005	1094			247	22,6
2006	1018	231	11	242	23,8
2007	937			220	23,5
2008	865	190	11	201	23,2
2009	800			191	23,8
2010	741	171	11	181	24,4
2011	689			167	24,2
2012	641	140	14	154	24,0
2013	598			143	24,0
2014	559	121	13	134	24,0
2015	523			126	24,0
2016	490	107	11	118	24,1
2017	460			107	23,2
2018	432	85	12	97	22,3
2019	407			87	21,5
2020	383			82	21,5

Quelle: Statistisches Bundesamt (FS 19, R1)

Da nur für einzelne Jahre offizielle Statistische Daten vorliegen mussten Datenlücken durch Intra-/Extrapolation und qualifizierte Schätzungen geschlossen werden.

Für die Jahre bis einschließlich 1998 wurden prozentualen Gaserfassungsraten aus früheren Schätzungen weiter verwendet (Quellen und Datenherleitung siehe NIR 2012) und die gefasste Methanmenge aus der Methanbildung und der jeweiligen prozentualen Erfassungsrate berechnet.

Für die Jahre 1999 bis 2003 wurden die prozentualen Erfassungsraten zwischen den Werten aus 1998 (alter Ansatz) und 2004 interpoliert. Die gefasste Methanmengemenge wurde aus der gesamten Methanbildung und der jeweiligen prozentualen Erfassungsrate berechnet.

Für die Jahre 2004, 2006 und 2008 liegen STBA-Daten nur für Deponien in der Ablagerungs- und Stillegungsphase vor. Für die Ermittlung der gesamten gefassten Methanmengen aller Deponien wurden die für 2010 ermittelten Methanmengen aus Deponien der Nachsorgephase zu den Jahreswerten der Ablagerungs- und Stillegungsphase für 2004, 2006 und 2008 addiert.

Für die geraden Jahre ab 20106 liegen vollständige Daten des statistischen Bundesamtes für die Deponiegasfassung aller Deponien vor, da die Datenerhebung durch das statistische Bundesamt nur in jedem zweiten Jahr erfolgt. Die prozentualen Deponiegaserfassungsraten wurden aus diesem Grunde zwischen dem vorhergehenden und dem nachfolgenden Jahr interpoliert und die gefassten Gasmengen aus der Gasbildung und der prozentualen Erfassungsrate berechnet. Für das jeweils aktuelle Jahr wird die prozentuale Erfassungsrate aus den letzten beiden Vorjahren

extrapoliert. Sobald die zugrundeliegende Statistik aktualisiert wurde wird der Wert rekalkuliert.

7.2.1.2.9 Fackeln

Im Jahr 2018 wurden mit dem Deponiegas 97 Gg Methan erfasst, von denen ein nicht für die energetische Nutzung geeigneter Anteil von rd 20 Gg in Fackeln verbrannt wurde. Für Deponiegasfackeln gelten in Deutschland über die TA Luft aber sehr strenge Anforderungen: Verbrennung in einer isolierten Hochtemperaturfackel, Verweilzeit mindestens 0,3 Sekunden bei einer Verbrennungstemperatur von über 1000°C. Deponiegasfackel erreichen daher einen sehr hohen Ausbrand und entsprechend geringe Methanemissionen auf. Die Hersteller garantieren für diese Fackeln einen Ausbrand >99,9 %.

Da die Treibhausgas-Emissionen aus der Kategorie Deponiegas-Fackeln in 5.A weniger als 0.05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) darstellen und 500 kt CO_2-Äquivalente nicht überschreiten (Erfassungsuntergrenzen gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1) und eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37), wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet (IPCC, 2006b). Eine einmalig durchgeführte quantitative Abschätzung der somit nicht im Inventar berücksichtigten Emissionen aus Deponiegas-Fackeln ergibt eine Menge von etwa 0,5 kt CO_2-äquivalent. Eine Zusammenstellung aller als not estimated erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Annex 5 (Anhang-Kapitel 21) dieses Berichtes.

7.2.1.2.10 Oxidationsfaktor

Für den Faktor zur Bestimmung des Anteils an CH_4, der in der Deponiedeckschicht oxidiert wird, wurde der IPCC-Default-Wert von 0.1 für die gesamte Zeitreihe angenommen. In den frühen 90er Jahren ist zwar einerseits ein höherer Anteil an ungeordneten Deponien aus der ehemaligen DDR zu erwarten, aus einem Forschungsprojekt wurden jedoch für die Deponien der ehemaligen DDR ein nur geringes CH_4 -Bildungspotential nachgewiesen, so dass für diesen Zeitraum ebenfalls der Faktor 0,1 verwendet wurde (BMBF & UBA, 1998). Der IPCC-Default-Wert für den Oxitationsfaktor wird von den Experten des Umweltbundesamtes in ihrer Größenordnung als realistisch beurteilt.

7.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.A.1)

Über den langen Zeitraum von dreißig Jahren der Aktivitätsdaten entstehen zwangsläufig Inkonsistenzen der Zeitreihen, da im Laufe der Zeit mehrfach die Abfallkategorien und die Art der Befragung verändert wurde, weil die Gesetzgebung und die Abfallstatistik weiterentwickelt wurden. In Deutschland ergeben sich besondere Probleme vor allem durch die deutsche Wiedervereinigung und die Zusammenführung zweier verschiedener Wirtschafts- und statistischer Systeme. Daher mussten mit erheblichem Aufwand die Konsistenz der Daten und die Zuordnung zu den berichteten Kategorien überprüft werden, um einen möglichst konsistenten Zeitverlauf zu erhalten.

Seit einigen Jahren verstärken sich in Deutschland Indizien, dass die nach dem FOD Modell des IPPC berechnete Deponiegasbildung und die daraus resultierenden Methanemissionen gegenüber dem realen Deponieverhalten erheblich überschätzt werden. Die Unsicherheiten der Berechnungen der Methanemissionen aus Deponien werden von den Experten des Umweltbundesamt daher auf +10% und -50 % geschätzt.

7.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.A.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Verifizierung der Ergebnisse wurden die im GHG-Locator abgeleiteten impliziten Emissionsfaktoren (IEF) mit den Daten anderer Staaten verglichen. Im Ergebnis hat Deutschland in der Berichterstattung 2020 mit 0,41 den zweithöchsten Wert im internationalen Vergleich. Dieser vergleichsweise hohe Wert erklärt sich durch die seit den 1990er Jahren stark rückläufigen abgelagerten Abfallmengen mit biologisch abbaubaren Anteilen und einer Gasbildung, die nahezu vollständig aus Abfällen erfolgt die vor 2005 auf Deponien abgelagert wurden (siehe Kapitel 7.2.1.2.2).

Inernational ist die Ablagerung von biologisch abbaubaren Abfällen noch weitverbreitet. Eine mit Deutschland vergleichbare Veringerung der Ablagerung biologisch abbaubarer Abfälle erfolgte nur in sehr wenigen Ländern. Österreich und die Schweiz haben zeitgleich mit Deutschland ähnliche abfallrechtliche Anforderungen für Deponien erlassen. Österreich steht im IEF-Vergleich dementsprechend an dritter Stellen und weist mit 0,26 einen ähnlich hohen Wert wie Deutschland auf. Für die Schweiz liegen keine Vergleichsdaten vor.

7.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.A.1)

Regelmäßige Rückrechnungen sind jährlich für das vorvergangene Jahr erforderlich, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit einem Jahr Verzug für die Daten für die abgelagerten Abfallmengen und -zusammensetzungen erscheint und Daten zu den gefassten Deponiegasmengen im zweijährigen Abstand erhoben werden, so dass das aktuelle Berichtsjahr deshalb geschätzt werden muss. Die Schätzung wird im jeweils folgenden Jahr mit den dann aktuellen Daten ersetzt. Da die daraus notwendige Rekalkulation insgesamt in jedem Jahr sehr gering ist, wird sie hier nicht mehr zusätzlich berichtet.

Über diese jährliche Rekalkulation hinaus wurde die für die Berechnungen verwendete Dichte von Methan mit anderen Inventarkategorien konsolidiert. Der Wert wurde von 0,716 auf 0,717 kg/m^3 angepasst. Daraus ergibt eine sehr geringe Veränderung der berichteten Emissionen in der gesamten Zeitreihe. Wegen der Geringfügigkeit werden die Änderungen hier nicht explizit ausgewiesen.

7.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.A.1)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet. Darüber hinaus sind keine Verbesserungen geplant.

7.3 Biologische Abfallbehandlung (5.B)

In der Kategorie 5.B werden die Emissionen aus Kompostierungsanlagen (5.B.1) und aus der Vergärung von Bioabfall in Biogasanlagen (5.B.2) berichtet. Beide Anlagentypen in der Kategorie 5.B behandeln getrennt gesammelte Bioabfälle und stellen Kompost oder Gärrest her, der anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwertet wird. Dies ist der Unterschied zur mechanisch-biologischen Behandlung in der Kategorie 5.E. Diese Anlagen setzen gemischte Siedlungsabfälle (Restabfälle) ein. Die Rückstände aus diesen Anlagen werden deponiert oder verbrannt.

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/T	5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	25,3	0,0%	713,7	0,1%	2716,6%
-/-/T2	**5 B, Biological Treatment of Solid Waste**		**N2O**	**16,0**	**0,0%**	**309,9**	**0,0%**	**1840,9%**

Die Kategorie *Biologische Abfallbehandlung* ist eine Hauptkategorie für CH_4-Emissionen nach derm Trend sowie für N_2O-Emissionen nach der Approach-2-Trend-Analyse.

7.3.1 Kompostierungsanlagen (5.B.1)

7.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.1)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS

In der Bundesrepublik werden jährlich zunehmende Anteile der biologisch abbaubaren Abfälle getrennt gesammelt und behandelt. Die unter 5.B.1 berichteten Emissionen stammen aus Kompostierungsanlagen die vor allem getrennt gesammelte Bioabfälle aus Haushalten sowie Garten und Parkabfälle kompostieren, Komposte, die aus diesen Abfällen erzeugt werden, werden anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwertet.

Neben der zentralen Kompostierung von getrennt gesammelten Bioabfällen gibt es auch die private Kompostierung im eigenen Garten (Eigenkompostierung). Hierzu liegen jedoch weder belastbare Daten zu den Mengen noch zu den verursachten Emissionen vor. Daher wird über diese Emissionen nicht berichtet.

7.3.1.2 Methodische Aspekte (5.B.1)

Über Lachgas- und Methanemissionen aus der Kompostierung von Küchen- und Grünabfällen wird gemäß den IPCC Guidlines 2006 (IPCC, 2006b) berichtet. Allerdings werden eigene nationale Emissionsfaktoren verwendet, die Ergebnisse eines Forschungsprojektes (Cuhls et al., 2015) sind. Die Berechnung der Methan- und Lachgasemissionen erfolgt nach folgender Formel:

$$E = M * EF$$

E = Emissionen in kg

M = Masse Bioabfall [kt]

EF = Emissionsfaktor [kg/kt]

Aktivitätsdaten

Die in Kompostierungsanlagen verwerteten Abfallmengen werden seit 1980 in unterschiedlicher Form vom Statistischen Bundesamt erhoben und veröffentlicht (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1, Tabelle 7). Hierfür findet eine Totalerhebung bei den Abfallbehandlungsanlagen statt. Zur Berechnung der in Kompostierungsanlagen behandelten Bioabfälle werden die Abfallmengen der Zeilen „Bioabfallkompostierungsanlagen“, „Grünabfallkompostierungsanlagen“ und Klärschlammkompostierungsanlagen“ addiert. Zusätzlich wird der Anteil der in „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“ kompostiert wird errechnet und hinzuaddiert. Für diese Berechnung wird der prozentuale Anteil der in diesen Anlagen erzeugten Komposte am Gesamtoutput der „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“ (Komposte und Gärrückstände) aus Tabelle 7.3 (ebd.) herangezogen und auf die eingesetzte Abfallmenge angewendet.

In den Jahren 1990 bis 2005 erfolgte die statistische Erfassung der Abfallmengen weniger detailliert, nicht immer in derselben Art und Weise und in unterschiedlichen jährlichen Abständen. Aus diesem Grund mussten einzelne Werte teilweise unterschiedlich interpoliert bzw. in die Vergangenheit extrapoliert werden.

Die Aktivitätsdaten für das aktuelle Berichtsjahr müssen geschätzt werden, da die offizielle Abfallstatistik mit zwei Jahren Verzug erscheint. Aus diesem Grund wird die gesamte in Kompostierungsanlagen eingesetzte Abfallmenge auf Basis des Trends der vorhergehenden 3 Jahre extrapoliert und im jeweils folgenden Jahr durch die statistisch erhobene Zahl ersetzt. Rückrechnungen sind daher jährlich erforderlich.
Im Vorfeld der Entscheidung für dieses Vorgehen wurde auch untersucht, wie sich diese Extrapolationsmethode auswirkt, wenn sie bei jeder Behandlungsanlagenart getrennt durchgeführt wird. Im Ergebnis kann es hier aufgrund unklarer Trendverläufe zu teilweise starken Schwankungen der berechneten Aktivitätsdaten kommen, die fachlich als nicht valide eingestuft werden. Wird hingegen nur die addierte Abfallmenge extrapoliert, erzeugt dies einen Wert, der nach Experteneinschätzung, aller Voraussicht nach, näher am erwartbaren zukünftigen Wert liegt.

Emissionsfaktoren

Für die Kompostierung von Bioabfällen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Emissionsfaktoren ermittelt (Cuhls et al., 2015). Im Rahmen dieses Projektes wurden sowohl für Methan als auch für Lachgas und Ammoniak Emissionsmessungen an 19 Kompostierungsanlagen durchgeführt. Aus den Messergebnissen und den Ergebnissen von Literaturrecherchen wurden aggregierte Emissionsfaktoren für den Anlagenbestand in Deutschland abgeleitet. Diese berücksichtigen sowohl die verschiedenen in Deutschland verwendeten Anlagentechniken als auch die unterschiedlichen als Einsatzstoffe verwendeten Bioabfälle. Bei einigen Anlagen gab es sehr hohe Emissionsmesswerte, die zu einem sehr hohen Mittelwert führten. An den meisten Anlagen gab es mehrere Messphasen, um unterschiedliche athmospärische/meteorolgische Bedingungen (Sommer/Winter) zu berücksichtigen bzw. als Ursache für besonders hohe oder niedrige Werte ausschließen zu können. Im Rahmen eines Peer-Reviews (Forschungsnehmer, UBA, Fachexperten) wurden die sehr hohen Werte schließlich als Ausreißer identifiziert und als nicht repräsentativ eingestuft. Aus diesem Grund wurde zusammen mit dem Forschungsnehmer (Cuhls et al.) beschlossen, die Medianwerte als Emissionsfaktoren zu verwenden. In die Ableitung der Medianwerte gingen alle gemessenen Emissionswerte ein. Die EF selbst wurden abgeleitet, indem zunächst EF für jede Behandlungstechnologie ermittelt wurden. Anschließend wurde jede Behandlungstechnologie in Abhängigkeit von der Menge der Abfälle, die in den zugehörigen Anlagen in Deutschland behandelt werden, gewichtet (Cuhls et al., 2015), Tabelle 5-1, die die verschiedenen Technologien und ihren Anteil am behandelten Bioabfall darstellt) und die verschiedenen EF mit Hilfe der ermittelten Gewichtungsfaktoren zu den aktuell verwendeten EF zusammengefasst.

Für die Kompostierung von Bioabfall wurden die folgenden Emissionsfaktoren ermittelt (Cuhls et al., 2015), S. 136, english version page 142):

$EF\text{-}CH_4$ = 1.400 g CH_4/t Bioabfall

$EF\text{-}N_2O$ = 74 g N_2O/t Bioabfall

Hierbei ist anzumerken, dass ein weiteres Ergebniss der Studie ist, dass der Gehalt an C und N im Bioabfall keine relevante Rolle für die Emissionen von CH_4 und N_2O spielt. Zu Beginn der Studie wurden Garten- und Küchenabfälle aufgrund des unterschiedlichen Gehalts an C und N getrennt betrachtet. Die Studie zeigte jedoch, dass beide keine relevanten Faktoren sind. Wichtigste Treiber für die Emissionen sind die Behandlungsbedingungen in der Kompostieranlage. Für die Bildung von CH_4 und N_2O während des Kompostierungsprozesses sind die Belüftung und die Temperatur die Schlüsselfaktoren und der Feuchtigkeitsgehalt spielt eine Rolle. Im Forschungsprojekt wird daher folgerichtig nicht zwischen den verschiedenen Abfallarten, sondern zwischen den verschiedenen Behandlungstechnologien unterschieden. In einfachen

Kompostieranlagen ohne intensivierter Belüftung findet aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehalts und des geringen Gehalts an strukturgebenden Bestandteilen keine alleinige Behandlung von Küchenabfällen statt. In diesen Anlagen werden meist Grünabfälle (aus Gärten und Parks) oder eine Mischung mit geringem Anteil an Küchenabfällen kompostiert. Küchenabfälle hingegen werden meist in geschlossenen Anlagen mit Zwangsbelüftung kompostiert.

In den genannten nationalen Emissionsfaktoren sind sowohl die Emissionen aus dem Kompostierungsprozess, und der Lagerung als auch die Emissionen aus der Anwendung des Kompostes enthalten. Diese umfasst auch die Ausbringung und die spätere Mineralisierung des Stickstoffs im Boden. Die Berechnung ist in Kapitel 5.3.3 von Cuhls et al. beschrieben (Seite 102 - 109). Nach Cuhls et al. liegt der N2O-Emissionsfaktor für die Kompostierung von Bioabfällen und die Anwendung von Kompost bei insgesamt 74 g N2O/t Bioabfall und damit im Bereich der Unsicherheit des IPCC-Defaultfaktors von 60 - 600 g (Vol. 5, Kap. 4.1.3.1):

- Die Emissionen aus der Behandlung betragen 49 g N2O/t Bioabfall.
- Die Emissionen aus der Lagerung/Anwendung/Mineralisierung betragen 25 g N2O/t Bioabfall.
- Der Defaultfaktor für die Kompostierung beträgt 300 g N2O/t Bioabfall.

Allgemein ist zu beachten, dass die Lachgasemissionen nach der Düngung mit Kompost sehr gering sind, da der darin enthaltene Stickstoff organisch gebunden ist und sehr langsam mineralisiert wird. Durch diese langsame Stickstofffreisetzung wird er weitgehend von den Pflanzen aufgenommen und es gibt kaum direkt verfügbaren Stickstoff (z.B. Nitrat), der in Distickstoffmonoxid umgewandelt werden könnte (Cuhls et al., 2015).

7.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.1)

Aktivitätsdaten

Die Unsicherheiten bei den kompostierten Abfallmengen werden als sehr gering (2 %) geschätzt, da es sich um eine Totalerhebung handelt.

Emissionsfaktoren

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren sind hoch und hängen von der Art der Anlage der Zusammensetzung der Abfälle und der Wirkung der eingesetzten Biofilter ab. Die Angaben aus der Literatur und aus anderen Staaten schwanken sehr stark, so dass hier von einer Unsicherheit von +400 % bis -69 % für CH_4 und von +177 % bis -46 % für N_2O ausgegangen wird. Die Unsicherheiten wurden im Rahmen des o.g. Forschungsprojektes ermittelt (Cuhls et al., 2015).

7.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für die Aktivitätsdaten werden Zahlen aus der Abfallstatistik des Bundes verwendet. Umfassendere oder genauere Daten sind nicht verfügbar.

Bei den Emissionsfaktoren wurde neben den durchgeführten Messungen auch eine Auswertung der vorhandenen Literatur durchgeführt und ist in die Ermittlung der Emissionsfaktoren eingeflossen. Auch eine von Oonk and Lambert (2017) durchgeführte Literaturrecherche hat keine neueren Daten zu Emissionen von Bioabfallbehandlungsanlagen ergeben und die von Deutschland verwendeten Emisionsfaktoren bestätigt.

Der verwendete Emissionsfaktor für Methan liegt mit 1,4 g CH_4/kg Abfall unter dem Defaultwert von 4 g, er liegt jedoch innerhalb der Bandbreite des letzteren von 0,03 bis 8 g CH_4/kg Abfall. Auch der verwendete Emissionsfaktor für Lachgas liegt mit 0,074 g N_2O/kg Abfall unter dem Defaultwert von 0,3 g, jedoch ebenfalls innerhalb der Bandbreite des letzteren von 0,06 bis 0,6 g N_2O/kg Abfall. Ein wichtiger Grund für den niedrigen ermittelten Emissionsfaktor sind wahrscheinlich die hohen technischen Standards bei den Behandlungsanlagen in Deutschland (aktive Belüftung, Temperaturüberwachung und Steuerung, regelmäßiges Umsetzen der Mieten).

Aus demselben Grund liegt auch der IEF für CH_4 und N_2O deutlich im unteren Drittel der berichtenden Staaten (GHG Locator 2020). Der IEF für Methan liegt in vergleichbarer Größenordnung wie der Wert aus Italien und über dem Wert vergleichbarer Länder wie den Niederlanden und der Schweiz. Der IEF für Lachgas liegt im unteren Bereich aber in ähnlicher Größenordnung wie die Werte aus der Schweiz und den Niederlanden.

Ein für die Berichterstattung 2020 durchgeführter Vergleich der verwendeten Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 448) mit denen von Österreich, Belgien und Dänemark zeigt, dass der deutsche CH_4-EF im Mittelfeld liegt. Für Lachgas liegt der EF etwas niedriger als der von Österreich und Belgien aber ebenfalls in der gleichen Größenordnung.

Tabelle 448: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Kompostierung

EF in g/t	Deutschland	Österreich	Belgien	Dänemark
Methan CH_4	1400	750	750	4000 (4200)
Lachgas N_2O	74	100	96	240 (120)

Quelle: aktuelle Submission für Deutschland, für andere Länder Submission 2019 (UNFCCC, 2020)

Anmerkung zur Tabelle: Angaben für Dänemark EF für Bioabfall (EF für Grünabfall)

7.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.1)

Bei der Erarbeitung der jeweils aktuellen Inventardaten liegen statistische Daten (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) für die abgelagerten Abfallmengen immer nur für das vorhergehende Berichtsjahr vor, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit zwei Jahren Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher, wie oben beschrieben, auf Basis des Trends der Aktivitätsdaten der vergangenen drei Jahre extrapoliert. Diese Extrapolation wird im jeweils folgenden Jahr durch die dann statistisch erhobenen Daten ersetzt. Aus diesem Grund sind jährliche Rückrechnungen für das vorvergangene Jahr erforderlich.

Bei der jährlichen Qualitätssicherung sind in den Inventarberechnungen kleinere Rundungsfehler bei den Aktivitätsdaten aufgefallen. Diese wurden korrigiert. Auf eine ausführliche Darstellung der resultierenden Rekalkulation wird wegen ihrer Geringfügigkeit verzichtet.

Geringfügig relevantere Überarbeitungen gab es für einen korrigierten Übertragungsfehler im ZSE für die Aktivitätrate desJahres 2010. Zusammen mit diesem wird auch die Rekalkulation für das Jahr 2019 dargestellt.

Tabelle 449: Rückrechnungen CRF 5.B.1

Bezeichnung	Einheit	Berichtsjahr	2010	2019
Eingesetzte Abfallmengen in Kompostierungsanlagen (GESAMT)	[kt]	2022	8.608,6	8.849,4
		2021	8.609,2	8.792,8
CH_4	[t]	2022	12.052,0	12.389,2
		2021	12.052,9	12.309,9
N_2O	[t]	2022	637,0	654,9
		2021	637,1	650,7

7.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.1)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.3.2 Vergärungsanlagen (5.B.2)

7.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.2)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS

In der Bundesrepublik werden jährlich zunehmende Anteile der biologisch abbaubaren Abfälle getrennt gesammelt und behandelt. Die unter 5.B.2 berichteten Emissionen stammen aus Vergärungsanlagen die vor allem getrennt gesammelte Bioabfälle aus Haushalten, Speiseabfälle aus Kantinen und Restaurants sowie Bioabfälle aus der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung vergären. Die Klärschlammfaulung ist nicht enthalten. In einigen Bioabfallvergärungsanlagen werden auch Wirtschaftsdünger (vor allem Gülle) eingesetzt. Diese Mengen werden bei den eingesetzten Abfällen aber herausgerechnet, da deren Emissionen bereits unter der CRF-Kategorie 3 B erfasst werden (siehe auch Kapitel 5.1.3.6.5 und 5.1.4, NIR 2018).

Die Vergärung wird gezielt zur Biogasgewinnung und damit zur Erzeugung eines Energieträgers betrieben (im Gegensatz zur Kompostierung). Aus diesem Grund wird ein Großteil des erzeugten Biogases gefasst und energetisch verwertet und nur ein geringer Teil abgefackelt. Beide Gasmengen werden direkt an den Anlagen statistisch erfasst und alle zwei Jahre erhoben. Die Ergebnisse sind in der jährlichen Abfallstatistik dargestellt ((Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1), Tabelle 1.5). Die Methanemissionen aus der Verbrennung des Biogases zur Energiegewinnung werden im Energiesektor unter 1.A.1.a berichtet.

Gärreste, die aus diesen getrennt gesammelten Abfällen erzeugt werden, werden anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwertet. Die Vergärung von Bioabfällen in Biogasanlagen wird erst seit 1999 statistisch erfasst (Statistisches Bundesamt, ebd.). Berichtet wird allerdings seit 1998. aufbauend auf einer Expertenschätzung, nach der die AR halb so groß wie 1999 war. In den Jahren davor war die Bioabfallvergärung im Prinzip vernachlässigbar und gewinnt seitdem aber zunehmend an Bedeutung. Seit dem NIR 2015 wird daher in Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines auch über die Bioabfallvergärung in Biogasanlagen berichtet.

7.3.2.2 Methodische Aspekte (5.B.2)

Über Lachgas- und Methanemissionen aus der Vergärung von Bioabfällen wird entsprechend den 2006 IPCC Guidelines berichtet. Allerdings werden eigene nationale Emissionsfaktoren verwendet, die Ergebnisse eines Forschungsprojektes (Cuhls et al., 2015) sind. Die Berechnung der Methan- und Lachgasemissionen erfolgt nach folgender Formel:

$$E = M * EF$$

E = Emissionen in kg

M = Masse Bioabfall [kt]

EF = Emissionsfaktor [kg/kt]

Daneben wird die aus der Bioabfallvergärung stammende energetisch genutzte Gasmenge und die abgefackelte Gasmenge berichtet, die seit 2004 alle zwei Jahre direkt in der Abfallstatistik erfasst wird ((Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1), Tabelle 1.5).

Aktivitätsdaten

Die in Bioabfallvergärungsanlagen verwerteten Abfallmengen werden seit 1999 regelmäßig vom Statistischen Bundesamt erhoben und jährlich in unterschiedlicher Form veröffentlicht (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1). Hierfür findet eine Totalerhebung bei den Abfallbehandlungsanlagen statt. Zur Berechnung der in Vergärungsanlagen behandelten Bioabfälle werden derzeit die Abfallmengen der Zeilen „Biogas- und Vergärungsanlagen“ und „Kombinierte Kompostierungs- und Vergärungsanlagen“ addiert. Zusätzlich wird der Anteil an den „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“, der vergoren wird, errechnet und hinzuaddiert. Für diese Berechnung wird der prozentuale Anteil der in diesen Anlagen erzeugten Gärrückstände am Gesamtoutput der „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“ (Komposte und Gärrückstände) aus Tabelle 7.3 (ebd.) herangezogen und auf die eingesetzte Abfallmenge angewendet.

Von den gesamten in Bioabfallvergärungsanlagen eingesetzten Abfällen wird die Menge an Wirtschaftsdünger (vor allem Gülle), die in diese Anlagen geht, abgezogen, da diese bereits in der CRF-Kategorie 3B erfasst wird. Hierfür wird die in der Abfallstatistik unter dem Abfallschlüssel 020106 erfasste Menge von der Gesamtmenge abgezogen. Diese Vorgehensweise ist zur Vermeidung einer Doppelzählung mit den Verantwortlichen für Kategorie 3 abgestimmt.

In den Jahren 1990 bis 2005 erfolgte die statistische Erfassung der Abfallmengen weniger detailliert, nicht immer in derselben Art und Weise und in unterschiedlichen jährlichen Abständen. Aus diesem Grund mussten einzelne Werte teilweise unterschiedlich interpoliert bzw. in die Vergangenheit extrapoliert werden.

Die Aktivitätsdaten für das aktuelle Berichtsjahr müssen geschätzt werden, da die offizielle Abfallstatistik mit zwei Jahren Verzug erscheint. Zur Abschätzung wird die gesamte Abfallmenge, die in Vergärungsanlagen behandelt wird, auf Basis des Trends der vorhergehenden 3 Jahre extrapoliert und im jeweils folgenden Jahr durch die statistisch erhobene Zahl ersetzt. Ebenso wird mit der gewonnenen und der abgefackelten Gasmenge verfahren. Rückrechnungen sind daher jährlich erforderlich.

Im Vorfeld der Entscheidung für dieses Vorgehen wurde auch untersucht, wie sich diese Extrapolationsmethode auswirkt, wenn sie bei jeder Behandlungsanlagenart getrennt durchgeführt wird. Im Ergebnis kann es hier aufgrund unklarer Trendverläufe zu teilweise starken Schwankungen der berechneten Aktivitätsdaten kommen, die fachlich als nicht valide eingestuft werden. Wird hingegen die addierte Abfallmenge extrapoliert, erzeugt dies einen Wert, der nach Experteneinschätzung, aller Voraussicht nach, näher am erwartbaren zukünftigen Wert liegt.

Emissionsfaktoren

Für die Vergärung von Bioabfällen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Emissionsfaktoren ermittelt (Cuhls et al., 2015). Im Rahmen dieses Projektes wurden sowohl für Methan als auch für Lachgas und Ammoniak Emissionsmessungen an 16 Vergärungsanlagen durchgeführt. Aus den Messergebnissen und den Ergebnissen von Literaturrecherchen wurden aggregierte Emissionsfaktoren für den Anlagenbestand in Deutschland abgeleitet. Diese berücksichtigen sowohl die verschiedenen in Deutschland verwendeten Anlagentechniken als auch die unterschiedlichen als Einsatzstoffe verwendeten Bioabfälle. Bei einigen Anlagen gab es sehr hohe Emissionsmesswerte, die zu einem sehr hohen Mittelwert führten. An den meisten Anlagen gab es mehrere Messphasen, um unterschiedliche athmospärische/meteorolgische Bedingungen (Sommer/Winter) zu berücksichtigen bzw. als Ursache für besonders hohe oder niedrige Werte ausschließen zu können. Im Rahmen eines Peer-Reviews (Forschungsnehmer, UBA, Fachexperten) wurden die sehr hohen Werte schließlich als Ausreißer identifiziert und als nicht repräsentativ eingestuft. Deshalb wurde zusammen mit dem Forschungsnehmer (Cuhls et al) beschlossen, die Medianwerte als Emissionsfaktoren zu verwenden. In die Ableitung der Medianwerte gingen alle gemessenen Emissionswerte ein. Die EF selbst wurden abgeleitet, indem zunächst EF für jede Behandlungstechnologie ermittelt wurden. Anschließend wurde jede Behandlungstechnologie in Abhängigkeit von der Menge der Abfälle, die in den zugehörigen Anlagen in Deutschland behandelt werden, gewichtet (Cuhls et al., 2015), Tabelle 5-1, die die verschiedenen Technologien und ihren Anteil am behandelten Bioabfall darstellt) und die verschiedenen EF mit Hilfe der ermittelten Gewichtungsfaktoren zu den aktuell verwendeten EF zusammengefasst.

Für die Vergärung von Bioabfall wurden die folgenden Emissionsfaktoren ermittelt (Cuhls et al., 2015), S. 136, english version page 142):

$EF\text{-}CH_4$ = 2.800 g CH_4/t Bioabfall

$EF\text{-}N_2O$ = 67 g N_2O/t Bioabfall

In den genannten nationalen Emissionsfaktoren, sind sowohl die Emissionen aus dem Vergärungsprozess, und der Lagerung als auch die Emissionen aus der Anwendung der Gärrückstände enthalten. Diese umfasst auch die Ausbringung und die spätere Mineralisierung des Stickstoffs im Boden. Die Berechnung ist in Kapitel 5.3.3 von Cuhls et al. beschrieben (Seite 102 - 109). Nach Cuhls et al. beträgt der N_2O-Emissionsfaktor für die anaerobe Vergärung und die Anwendung von Gärresten bei insgesamt 67 g N2O/t Bioabfall:

- Die Emissionen aus der Behandlung betragen 45 g N2O/t Bioabfall (ebd. S. 134)
- Die Emissionen aus der Lagerung/Anwendung/Mineralisierung betragen 22 g N_2O/t Bioabfall.

Für die anaerobe Vergärung gibt es keinen IPCC-Defaultfaktor, da angenommen wird, dass die N2O-Emissionen vernachlässigbar sind.

Allgemein ist zu beachten, dass die Lachgasemissionen nach der Düngung mit Gärrückständen sehr gering sind, da der darin enthaltene Stickstoff organisch gebunden ist und sehr langsam mineralisiert wird. Durch diese langsame Stickstofffreisetzung wird er weitgehend von den Pflanzen aufgenommen und es gibt kaum direkt verfügbaren Stickstoff (z.B. Nitrat), der in Distickstoffmonoxid umgewandelt werden könnte (Cuhls et al., 2015).

Informationen zu Emissionen aus Vergärung in der Landwirtschaft sind in den Kapiteln 5.1.3.6.5 (Kategorie 3.B) und 5.1.4 (Kategorien 3.D und 3.J) zu finden

7.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.2)

Aktivitätsdaten

Die Unsicherheiten bei den in Vergärungsanlagen behandelten Abfallmengen werden als sehr gering (2 %) geschätzt, da es sich um eine Totalerhebung handelt. Dies gilt auch für die statistisch erhobenen verwerteten und abgefackelten Gasmengen aus Bioabfallvergärungsanlagen.

Emissionsfaktoren

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren sind hoch und hängen von der Art der Anlage der Zusammensetzung der Abfälle und der Wirkung der eingesetzten Biofilter ab. Die Angaben aus der Literatur und aus anderen Staaten schwanken sehr stark, so dass hier von einer Unsicherheit von +179 % bis -77 % für CH_4 und von +320 % bis -37 % für N_2O ausgegangen wird. Die Unsicherheiten wurden im Rahmen des o.g. Forschungsprojektes ermittelt (Cuhls et al., 2015).

7.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.2)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Bei den Aktivitätsdaten werden Zahlen aus der Abfallstatistik des Bundes verwendet. Umfassendere oder genauere Daten sind nicht verfügbar.

Bei den Emissionsfaktoren wurde neben den durchgeführten Messungen auch eine Auswertung der vorhandenen Literatur durchgeführt und ist in die Ermittlung der Emissionsfaktoren eingflossen. Auch eine von Oonk and Lambert (2017) durchgeführte Literaturrecherche hat keine neueren Daten zu Emissionen von Bioabfallbehandlungsanlagen ergeben und die von Deutschland verwendeten Emisionsfaktoren bestätigt.

Die im Forschungsprojekt ermittelten Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas umfassen neben der anaeroben Behandlung der Bioabfälle auch die aerobe Nachrotte der Gärreste. Daher ist der verwendete Wert für Methan mit 2,8 g CH_4/kg Abfall deutlich höher als der IPCC-Defaultwert von 1 g CH_4/kg Abfall, er liegt jedoch innerhalb der Bandbreite des letzteren von 0 – 8 g CH_4/kg Abfall. Für Lachgas geben die Guidelines gar keinen Emissionsfaktor an, weil vermutlich nur der anaerobe Prozess betrachtet wird.

Beim Vergleich des CH_4-IEF mit den IPCC-Default-Werten fällt auf, dass er deutlich über den letzteren liegt. Dies ist darin begründet, dass nach der im CRF angegebenen IEF-Berechnungsroutine der IEF wie folgt berechnet wird IEF = (CH_4-Emissionen + CH_4 gefasst + CH_4 abgefackelt)/Jahresabfallmenge in Vergärungsanlagen. Die deutschen CH_4-Emissionen basieren jedoch ausschließlich auf den Emissionen die während der Behandlung entstehen. Die Mengen an CH_4, die gefasst und abgefackelt werden stammen aus nationalen Statistiken und sind für die Emissionsberechnung nicht relevant, da sie energetisch genutzt werden oder vernachlässigbar gering sind. Damit ist das IEF-Berechnungsverfahren des CRF irreführend, zumindest aber nicht hilfreich für einen Vergleich zwischen den Staaten, da Länder, die CH_4 gar nicht fassen und abfackeln die EF-Defaults erreichen. Länder die CH_4 fassen und energetisch nutzen erreichen die Defaults aber nicht. Sie überschreiten sie bei weitem, da die gefasste und abgefackelte Menge an CH_4 die Menge an diffus emittiertem CH_4 naturgemäß bei weitem überschreitet.
Diesen Umstand bestätigt auch ein Blick auf die IEF der berichtenden Länder (GHG Locator 2020) - die Werte bewegen sich in einem extrem breiten Spektrum, Vergleichbarkeit ist nicht gegeben.

Wie oben schon beschrieben, werden in den Guidelines keine EF für N_2O angegeben, weil die Emissionen als vernachlässigbar eingestuft werden. Dementsprechend berichtet außer Deutschland nur noch die Niederlande Emissionen - beide IEF-Werte liegen nah beieinander.

Ein für die Berichterstattung 2020 durchgeführter Vergleich der deutschen Emissionsfaktoren für Methanemissionen aus Bioabfallvergärungsanlagen mit denen der Länder Österreich und Dänemark zeigt, dass diese ihre Emissionen als Verlust in Prozent der gesamten gebildeten Methanmenge angeben. Die Umrechnung des deutschen Emissionsfaktors ergibt einen Verlust von 5,7%. Dieser Wert ist mit denen der beiden genannten Länder direkt vergleichbar.

Über Lachgasemissionen aus Vergärungsanlagen wird von keinem der Länder berichtet.

Tabelle 450: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Vergärung

EF in g/t	Deutschland	Österreich	Dänemark
Methan CH_4	2800 (5,7%)	5%	4%
Lachgas N_2O	74	-	-

Quelle: aktuelle Submission für Deutschland, für andere Länder Submission 2019 (UNFCCC, 2020)

7.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.2)

Bei der Erarbeitung der jeweils aktuellen Inventardaten liegen statistische Daten (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) für die abgelagerten Abfallmengen immer nur für das vorhergehende Berichtsjahr vor, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit zwei Jahren Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher, wie oben beschrieben, auf Basis des Trends der Aktivitätsdaten der vergangenen 3 Jahre extrapoliert. Diese Extrapolation wird im jeweils folgenden Jahr durch die dann statistisch erhobenen Daten ersetzt. Aus diesem Grund sind jährliche Rückrechnungen für das vorvergangene Jahr erforderlich.

Bei der jährlichen Qualitätssicherung sind in den Inventarberechnungen kleinere Rundungsfehler bei den Aktivitätsdaten im ZSE aufgefallen. Diese wurden korrigiert. Auf eine ausführliche Darstellung der resultierenden Rekalkulation wird wegen ihrerGeringfügigkeit verzichtet. Im Folgenden wird die Rekalkulation für 2019 dargestellt.

Tabelle 451: Rückrechnungen CRF 5.B.2

Bezeichnung	Einheit	Berichtsjahr	2019
Eingesetzte Abfallmengen in Biogas- und Vergärungsanlagen (GESAMT)	[kt]	2022	5.752,9
		2021	5.624,1
CH_4	[t]	2022	16.108,1
		2021	15.747,6
N_2O	[t]	2022	385,4
		2021	376,8

Über diese jährliche Rekalkulation hinaus wurde die für die Berechnung der gefassten und abgefackelten Methanmengen (additional Informations) verwendete Dichte von Methan mit anderen Inventarkategorien konsolidiert. Der Wert wurde von 0,716 auf 0,717 kg/m^3 angepasst. Daraus ergibt sich eine sehr geringe Veränderung der berichteten Methanmengen in der gesamten Zeitreihe. Wegen der Geringfügigkeit werden die Änderungen hier nicht explizit ausgewiesen.

7.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.2)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.4 Abfallverbrennung (5.C)

Die anlagenbasierte Abfallverbrennung erfolgt in Deutschland entweder vollständig unter energetischer Nutzung oder ist den Krematorien zuzuordnen. Die bei der Abfallverbrennung mit energetischer Nutzung entstehenden Emissionen werden zur Vermeidung von Doppelzählungen im Energieteil (CRF 1.A.1.a, Kapitel 3.2.6) berichtet . Unter 5.C werden lediglich die Emissionen an NO_X, SO_2 und NMVOC aus Krematorien (Anlagen) und NO_X, SO_2, CO und NMVOC aus Brauchtumsfeuern (offene Verbrennung) berichtet.

7.4.1 Krematorien

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NOX, SO2, NMVOC	Tier 1	AS	CS

Die Daten zu Feuerbestattungen werden aus Angaben des Bundesverbandes Deutscher Bestatter e.V. und den offiziellen Sterbezahlen für Deutschland berechnet (W. Statistisches Bundesamt, 2021b). Wegen des steigenden Anteils an Feuerbestattungen (Bundesverband Deutscher Bestatter, 2021) und damit steigender absoluter Anzahl (angestiegen auf ca. 700.000) werden steigende Emissionen ausgewiesen. Da im CRF-Reporter für Aktivitätsdaten die fest vorgegebene Einheit „kt“ gefordert ist, findet sich in den CRF-Tabellen eine errechnete Angabe. Die Umrechnung wird aus Pietätsgründen hier nicht näher beschrieben, erfolgt aber vergleichbar zu anderen Veröffentlichungen.

Folgende Angaben geben einen Überblick über die tatsächliche Anzahl an Kremierungen:

Tabelle 452: Tatsächliche Anzahl der Kremierungen

Kremierungen	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020
Anzahl (in Tausend)	169	316	328	365	427	574	658	710

Quelle: eigene Berechnungen

Emissionsberechnungen erfolgen nicht für Treibhausgase, berücksichtigt werden aber die Vorläufersubstanzen NO_X, SO_2, CO und NMVOC. Zur Berechnung dieser Emissionen werden die EF Default-Werte aus dem EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013 verwendet.

Es ist geplant, die Eignung von Emissionsfaktoren nach EMEP-Guidebook 2016 zu prüfen sowie neueste Messergebnisse zu berücksichtigen.

7.4.2 Brauchtumsfeuer und ähnliche offene Verbrennungen

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NOX, SO2, CO, NMVOC	Tier 1	M, Q	C

Aus der offenen Verbrennung von Holz und Grünschnitt zu Traditionszwecken, sogenanntem Brauchtum wie z.B. dem Entfachen von Osterfeuern werden neben biogenem Kohlendioxid Emissionen an NO_X, SO_2, CO und NMVOC berücksichtigt.

Die Erhebung der Anzahl an solchen Brauchtumsfeuern erfolgte durch ein Sachverständigenprojekt (Wagner & Steinmetzer, 2018) mit Befragung von Gemeinden und statistischen Hochrechnungen für Deutschland für das Jahr 2016. Auf Grund des Gutachtervotums wird eine sinkende Entwicklung für die gesamte betrachtete Zeit angenommen.

Wegen der Einschränkungen öffentlicher Aktivitäten während der Pandemie wurde nach einer Modellierung von wesentlich weniger Brauchtumsveranstaltungen gesucht. Bereits im Sachverständigenprojekt wurden zwei Feuerarten unterschieden: Lagerfeuer im eher privaten Bereich und vor allem Osterfeuer im eher öffentlichen Bereich. Die Berechnungen werden jetzt separat betrachtet und die Lagerfeuer mit einem weiterhin stetigen Rückgang modelliert. Die vor allem Osterfeuer folgen einem Ansatz über allgemeine prozentuale Abnahmen und zusätzlich in 2019 fünf Prozentpunkten Abnahme entsprechend diverser Absagen wegen Waldbrandgefahr. In 2020 wurde eine zusätzliche Abnahme um 70 Prozent wegen Absagen zur Pandemiebekämpfung modelliert (kein vollständiger Ausfall in Deutschland, weil es Ausnahmen und Nachholveranstaltungen gab)

Rekalkulationen waren wegen der Modellanpassungen ab 2017 in geringfügiger Höhe notwendig und fallen in 2019 wegen oben erläuterter Methodik höher aus, was keine fossilen Treibhausgase betrifft.

Es sind keine weiteren Verbesserungen geplant.

7.5 Abwasserbehandlung (5.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/T	**5 D 1, Domestic Wastewater**		**CH4**	**2.563,2**	**0,2%**	**435,5**	**0,1%**	**-83,0%**
-/-/T2	**5 D 1, Domestic Wastewater**		**N2O**	**1.157,5**	**0,1%**	**431,7**	**0,1%**	**-62,7%**
-/-	5 D 2, Industrial Wastewater		N2O	31,6	0,0%	26,8	0,0%	-15,2%
-/-	5 D 2, Industrial Wastewater		CH4	9,3	0,0%	47,2	0,0%	410,5%

Die Kategorie *Abwasserbehandlung - Kommunale Abwasserbehandlung* ist für CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend sowie für N_2O-Emissionen nach der Approach-2-Level- & Trend-Analyse. Aufgrund der seit 1990 sehr stark fallenden Emissionen und des dadurch erreichten sehr geringen Emissionsniveaus hat die Nationale Koordinierungsstelle aus Gründen der Ressourcenpriorisierung entschieden, die für Hauptkategorien vorgesehenen höheren Ansprüche an die Methodik für diese Kategorie nicht umzusetzen.

7.5.1 Kommunale Abwasserbehandlung (5.D.1)

Die kommunale Behandlung von Abwasser in Deutschland erfolgt zu >99% (bezogen auf die Jahresabwassermenge) in zentralisierten Kläranlagen, an die die jeweiligen Haushalte zu ca. 97% (bezogen auf die Bevölkerungszahl) über öffentliche Kanalsysteme angeschlossen sind. Die restlichen 3% der Bevölkerung werden mittels anderer Behandlungsformen (Kleinkläranlagen, abflusslose Gruben) abgedeckt. Alle genannten Behandlungsformen (zentralisierte Kläranlagen, Kleinkläranlagen, abflusslose Gruben) fallen in den Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung. Neben häuslichem Abwasser werden in kommunalen Kläranlagen auch Indirekteinleitungen aus Industrie und Gewerbe (ca. 30% bezogen auf die angeschlossenen Einwohner- bzw. Einwohnergleichwerte) sowie Niederschlagswasser aus der Mischkanalisation behandelt.

In den meisten kommunalen Kläranlagen in Deutschland kommt das Belebtschlammverfahren zum Einsatz. Über 90% der Abwassermenge in Deutschland wird in Anlagen behandelt, die mit einer Denitrifikation ausgestattet sind. Anfallender Primärschlamm aus der Vorklärung und Überschussschlamm aus dem Belebtschlammverfahren werden meist in Faultürmen direkt vor Ort oder bei größeren Kläranlagen stabilisiert. Dort wird gezielt Klärgas produziert, welches energetisch genutzt wird. Der nun ausgefaulte Schlamm wird meist getrocknet und anschließend verbrannt, um im besten Fall wertvolle Rohstoffe, wie z.B. Phosphor, zurück gewinnen zu können. Die stoffliche Verwertung des Klärschlamms (ausgefault), meist in der Landwirtschaft, ist rückläufig.

Kommunale Kläranlagen in Deutschland werden gemäß Anhang 1 der Abwasserverordnung mittels des biologischen Sauerstoffbedarfes in Größenklassen unterteilt, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt werden. Eine Umrechnung aus der Klassifizierung mittels des biologischen Sauerstoffbedarfs in die Klassifizierung nach Einwohnerwerten ergibt sich aus den Angaben der Kommunalabwasserrichtline der EU (Art.2 Nr. 6 91/271/EWG → 1 EW = 60 $gBSB_5/d$).

Tabelle 453: Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen nach Anhang 1 der Abwasserverordnung

Proben nach Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen	Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB5) [kg/d]	Einwohnerwert, EW [-]
Größenklasse 1	< 60	< 1.000
Größenklasse 2	60 – 300	1.000 – 5.000
Größenklasse 3	> 300 - 600	> 5.000 – 10.000
Größenklasse 4	> 600 – 6.000	> 10.000 – 100.000
Größenklasse 5	> 6.000	> 100.000

Gemäß IPCC-Guidelines sind die relevanten Treibhausgase für die kommunalen Abwasserbehandlung Methan und Lachgas. Bezogen auf Methan konnte die Schlammbehandlung, für Lachgas das Belebtschlammverfahren als Hauptquellen identifiziert werden. Die Datengrundlage stellt sich national, wie international allerdings als dünn dar.

Bezogen auf die Gesamtemissionen Deutschlands stammt nur ein sehr geringer Anteil (ca. 0,1%) aus der kommunalen Abwasserbehandlung. Die Emissionen des Sektors werden von einem abfallenden Trend geprägt. Bezogen auf das Jahr 1990 haben sich die Emissionen (CO_2-Äquivalente) um mehr als 75% reduziert. Dies ist aus Sicht des Umweltbundesamts im Wesentlichen auf eine Erhöhung des Anschlussgrades an die kommunale Abwasserbehandlung und die Abschaffung der offenen Schlammfaulung begründet.

Bis 1990 war Deutschland in die Bundesrepublik Deutschland und die Deutsche Demokratische Republik geteilt. Sich hieraus ergebende Besonderheiten und Unterschiede zwischen den beiden Staaten sind an den entsprechenden Stellen dieses Berichtes erläutert.

7.5.1.1 Methanemissionen der kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1 Abwasserbehandlung)

7.5.1.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	D/CS	NS	D/CS
N_2O	D/CS	NS	D/CS

Die Kategorie *Abwasserbehandlung - Kommunale Abwasserbehandlung* ist für CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend.

99,5% der jährlichen Abwassermenge in Deutschland wird in zentralisierten kommunalen Kläranlagen behandelt (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3a). Hierbei entsteht, durch anaerob ablaufende Stoffwechselprozesse innerhalb der Abwasserbehandlung, Methan.Zur Emission tragen voraussichtlich alle Prozessschritte der Abwasserbehandlung bei, allerdings haben die Schlammfaulung und die Faulschlammstapelung die größten Anteile. Die Schlammeindickung, der Sandfang und die Denitrifikation verzeichnen deutlich niedrigere Emissionen.

Die restlichen 0,5 % der Abwassermenge wird in Kleinkläranlagen behandelt oder bis zum Abtransport in eine Kläranlage in abflusslosen Gruben gesammelt. In abflusslosen Gruben können Prozesse (teils aerob, teils anaerob) ablaufen, die zur Methanbildung führen.

Die organische Fracht, die in abflusslose Gruben geleitet wird, reduzierte sich seit 1990, da sich der Anschlussgrad an Kläranlagen durch die Anforderungen der Kommunalabwasserrichtlinie der Eropäischen Union (siehe Art. 3 & 7 der 91/271/EWG) stetig erhöht hat.

Bis Anfang der 1990er Jahre wurde in den Bundesländern der ehemaligen DDR zur Schlammstabilisierung die offene Schlammfaulung durchgeführte . Nach schrittweiser Reduzierung wurde diese 1994 eingestellt (siehe Kapitel 7.5.1.2.1). Aus dieser Konstellation resultiert ein stark abfallender Trend der CH_4-Emissionen dieses Sektors.

7.5.1.1.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Die von IPCC empfohlene Gleichung 6.1 (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.2.2.) zur **Berechnung von CH_4-Emissionen aus dem kommunalen Abwasser** ist in Deutschland, wie im Folgenden erläutert, nicht anwendbar. Von den in Tabelle 6.5 der IPCC-Guidelines (ebd.) vorgestellten Anteilen der Bevölkerung (fraction of population, U_i) tragen zwei Gruppen (rural und urban-high) zu den Emissionen bei. Gleichzeitig wird der Primär- und Sekundärschlamm zur CH_4-Erzeugung in Faultürmen genutzt. Das entstehende Methan wird gefasst, wodurch die dabei produzierte CH_4-Gesamtmenge weit über den mittels Gleichung 6.1 berechneten CH_4-Emissionen liegen und damit auch der aus der IPCC-Gleichung entstehende Wert negativ wäre. Der Klärschlamm wird zudem erst nach der Klärgasgewinnung, also ausgefault, einer weitereren Verwertung zugeführt (z.B. Verbrennung oder Nutzung als sekundärer Rohstoff in Landwirtschaft oder im Landschaftsbau), weshalb im Sinne der Guidelines nicht von „sludge removed“ gesprochen werden kann, da der Klärschlamm ausgefault ist und keinen BSB_5 mehr enthält (siehe auch Kapitel 7.5.1.2.1). Darüber hinaus sind die in Deutschland vorliegenden Daten für die angeschlossenen Personen präziser, als die mit Tabelle 6.5 der IPCC-Guidelines ableitbaren Werte für U_i und $T_{i,j}$ (degree of utilisation of treatment system). Alles in allem ist dieGuidelines-Methode von 2006 zu eingeschränkt für die in Deutschland real vorliegende Situation. Aus den beschriebenen Gründen wird anstelle der IPCC Gleichung aus 2006 nach der IPCC -Methode von 1996 verfahren, die allerdings um die Anforderungen der IPCC Guidelines aus 2006 ergänzt wurde.

Die Berechnung der Methanemissionen aus Kläranlagen beruht auf einer begrenzten Anzahl von Messungen aus Becker et al. (2012). Aus dieser Veröffentlichung lässt sich ein Emissionsfaktor von 0,26 kg Methan pro Jahr und Einwohner ableiten. Die Messungen wurden an drei kommunalen Kläranlagen durchgeführt und umfassen in ihrer Gesamtheit alle potentiell emissionsrelevanten mechanischen sowie biologischen Verfahrensstufen der Abwasserbehandlung(Sandfang, Nitrifikation, Denitrifikation, P-Elimination), inklusive der Schlammbehandlung (Primär- und Überschussschlamm, Schlammfaulung, Schlammstapelung). Die Studie umfasst eine sehr begrenzten Anzahl an Messungen. Daher ist der EF allerdings eher als ein Ergebnis von Stichproben denn als repräsentativer Emissionsfaktor einzuordnen. Aufgrund der Bandbreite der Messwerte und ihrer geringen Anzahl, ergibt sich zusätzlich eine recht hohe Unsicherheit. Er ist aus wissenschaftlicher Sicht nur eingeschränkt belastbar sowie auf der Basis der IPCC-Qualitätsstandards für Literaturquellen eher vorsichtig zu bewerten. Während des In Country Review 2016 wurde Deutschland dennoch zur Anwendung des obigen EF verpflichtet.

Aufgrund der überwiegend gleichen Austattung der kommunalen Kläranlagen, bezogen auf die biologische Abwasserbehandlung, in Deutschland, wird dieser Emissionsfaktor auf alle Kläranlagen angewendet.

Da so gut wie alle Einwohner (ca. 97%) in Deutschland an eine der ca. 9100 (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.2) Kläranlagen angeschlossen sind, wird die Gesamtbevölkerungszahl als Aktivitätsrate genutzt. Durch die Verwendung der Gesamteinwohnerzahl kommt es hier

aufgrund der Mitberücksichtigung der Kleinkläranlagen und abflusslosen Gruben zu einem als konservativ einzustufenden Ergebnis. Von den Kleinkläranlagen wäre, aufgrund der nicht vorhandenen Schlammbehandlung, ein vermutlich geringerer Emissionsfaktor zu erwarten. Die Abwässer aus den abflusslosen Gruben werden zwar in die kommunalen Kläranlagen verbracht und müssen auch an dieser Stelle betrachtet werden, sind zu diesem Zeitpunkt allerdings schon teilweise ausgefault. Es kommt hier also zu einer Überschneidung der Emissionswerte aus den Kläranlagen und den abflusslosen Gruben, die sich mangels Daten nicht exakt beziffern lässt, gleichzeitig ist die Relevanz aber sehr gering und daher vernachlässigbar. Der der Trendentwicklung des Emissionsfaktors zugrundeliegende Verlauf ab 1990 beruht auf einem Fachbeitrag (Grün et al., 2013), dessen spezifische Betrachtungen für den Einzugsbereich des „Emschersystems“ (Nordrhein-Westfalen) generalisiert und auf Basis von Expertenschätzungen der Studienautoren als auch für Deutschland repräsentativ eingestuft wurde. Dies wird aufgrund eines sehr ähnlichen Standes der Anlagentechnik und des Anlagenmanagements auf kommunalen Kläranlagen als plausibel angesehen. Der Fachbeitrag geht von einer Halbierung der Emissionen aufgrund von Verbesserungen der Anlagentechnik und des Anlagenmanagements im Zeitraum 1990 bis 2020 aus. Hierbei ist anzumerken, dass sich diese Entwicklung rein aus den zuvor genannten Verbesserungen der Kläranlagentechnik (z.B. effizientere Belüftersysteme, optimierte Betriebsführung) ableitet und nicht die spezifische Reduktion der Emissionen aufgrund des Umbaus von zuvor offenen Kanalsystemen im Einzugsgebiet der Emscher miteinbezieht. Dies bedeutet, dass diese grundlegende Besonderheit des Emschersystems (im Vergleich zum Durchschnitt der deutschen Kläranlagen) nicht in die ermittelte Trendentwicklung eingeht. Zur Berechnung der einzelnen Emissionsfaktoren für die Jahre ab 1990 wird der oben beschriebene Emissionsfaktor für das Jahr 2011 als fester Ausgangswert verwendet. Der Emissionsfaktor für 1990 wird mittels Geradengleichung und der Annahme, der Wert für 2020 sei halb so groß wie der Wert für 1990, bestimmt. Die Emissionsfaktoren für die übrigen Jahre lassen sich durch lineare Interpolation ermitteln. Aufgrund der hier beschriebenen Berechnungsmethode zur Ermittlung des Emissionsfaktors für Emissionen aus Kläranlagen, bei der reale Messwerte verwendet werden, ist die Verwendung eines Methankorrekturfaktors (MCF) nicht zielführend.

Die organische Fracht der **abflusslosen Gruben** wird entsprechend der IPCC-Methode ermittelt, indem die an Gruben angeschlossenen Personen (P) mit der durchschnittlichen organischen Fracht pro Einwohner multipliziert werden. Für die durchschnittliche tägliche organische Fracht wird 60 g BSB_5 pro Einwohner angenommen (Gujer, 2006). Dabei handelt es sich um den für Deutschland spezifischen Wert, der zusätzlich aber auch europaweit als statistischer Mittelwert verwendet wird (91/271/EWG, 1991). Der IPCC Default Wert für Deutschland liegt mit 62 g in derselben Größenordnung (2006 IPCC Guidelines, (2006b): Vol. 5, Kapitel 6, Tabelle 6.4).

Die Methanemissionen aus abflusslosen Gruben werden ebenfalls entsprechend der IPCC Methode ermittelt. Es wird der IPCC Default-Wert für das Methanbildungspotenzial (0,6 kg CH_4/kg BSB_5) verwendet. Gemäß IPCC (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.1., Seite 6.7) ist die Höhe des Methankorrekturfaktors (MCF) temperarturabhängig. Bei Temperaturen unterhalb von 15°C findet demgemäß keine signifikante Methanproduktion statt.

Ausgehend von der langjährigen mittleren Bodentemperatur in Deutschland (DWD, 2013) in 1 m Tiefe liegt in den Sommermonaten die gemittelte Bodentemperatur bei Werten zwischen 15 und 18° C. Eine Methanbildung ist in dieser Zeit somit möglich, da die Gruben in etwa dieser Tiefe liegen. Der MCF für diesen Zeitraum (etwa 3,5 Monate) wird in Anlehnung an Gibbs and Woodbury (1993) konservativ auf 0,35 geschätzt. Für den Rest des Jahres liegen die Temperaturen teilweise signifikant unter der 15° C-Grenze des IPCC. Sie sinken bis auf etwa 3,8° C. Der MCF für diesen Zeitraum (etwa 8,5 Monate) wird in Anlehnung an Gibbs and

Woodbury (1993) konservativ auf 0,1 geschätzt (nach IPCC wäre ein MCF von 0 gerechtfertigt). Da die Gruben zusätzlich regelmäßig zur Entsorgung des Abwassers in der Kläranlage geleert werden und demzufolge keine Sedimentation oder Schlammanreicherung stattfindet, wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Werte realistisch bis konservativ einzuschätzen sind. Die Angaben aus Gibbs and Woodbury (1993) beziehen sich auf Untersuchungen zur Methanbildung von tierischem Wirtschaftsdünger (Gülle). Da entsprechende Daten für menschliche Ausscheidungen sowohl national als auch international nicht vorliegen und die diesbezüglichen IPCC-Default Werte in Deutschland nicht anwendbar sind, werden die dort (ebd.) ermittelten MCF-Werte für die Ermittlung des nationalen MCF als übertragbar angenommen. Der MCF beschreibt das Potential der angewendeten Technik zur Methanbildung. Bei der Güllelagerung handelt es sich um meist nicht durchmischte Systeme, die regelmäßig aber diskontinuierlich über einen Zulauf und eine Entnahme verfügen. Dies erscheint mit abflusslosen Gruben hinreichend vergleichbar. Auch der Einfluss des Substrates bezieht sich, bezüglich des MCF, rein auf den technischen Aspekt. Da das Potential des Substrates zur Methanbildung durch den B_o beschrieben wird, ist hier eine Vergleich der Trockensubstanz (Massenanteil) ausreichend. Dieser wird für Schweinegülle mit 5% und für Rindergülle mit 7,5% angenommen (LfL Bayern, 2009). Für bereits eingedickten Primärschlamm aus der Abwasserbehandlung liegt diese bei ca. 5-10% (DWA, 2007). Das Umweltbundesamt geht davon aus, dass Rohabwasser, selbst im eher wassersparsameren Bereich ohne Anschluss an die öffentliche Kanalisation, deutlich unterhalb der eben genannten Werte und somit auch unterhalb der Trockensubstanz der Gülle liegt. Durch den Zufluss von Grauwasser und Toilettenspülwasser im Abwasserbereich und die Verwendung von Einstreu im Tierzuchtbereich erscheint dies zudem plausibel. Es ist also anzunehmen, dass sich aufgrund der dünneren Suspension (impliziert eine geringere Sauerstoffzehrung) erst später anaerobe Verhältnisse als bei der Güllelagerung einstellen und die Umsetzung zu Methan verzögert abläuft. Zudem verfügen abflusslose Gruben nur über eine Ventilationsöffnung, wohingegen Güllelagertanks oft komplett offen sind. Dies deutet auf einen eher konservativen Ansatz hin. Die Betrachtung des im Thünen-Report Nr. 77 (Haenel, 2020) berichteten MCF für die Lagerung von Schweinegülle (0,25) unterstreicht die Konservativität des von uns gewählte MCF (0,35). Da keine spezifischen Daten zur Übertragbarkeit vorliegen, wurde hier eine Unsicherheit von 20% (siehe Kapitel 7.5.1.1.3) geschätzt. Mittels eines in 2018 abgeschlossenen Forschungsprojektes (unveröffentlicht) wurde überprüft, ob national wie auch international bessere Daten für die Ableitung eines landesspezifischen MCF vorliegen. Hierfür wurde eine umfangreiche Literaturstudie durchgeführt und nationale Hersteller abflussloser Gruben, sowie nationale wissenschaftliche und unversitäre Einrichtungen dazu befragt, ob Messergebnisse über die Methanbildung in abflusslosen Gruben vorliegen. Die Studie kommt zu dem Schluß, dass die sehr wenigen in der internationalen Literatur veröffentlichten Messergebnisse keine Rückschlüsse auf die Ableitung eines nationalen MCF zulassen. Zusätzlich liegen den Herstellern und auch den befragten Institutionen keine Informationen zur Methanbildung vor. Aus diesem Grund wird der hier vorgestellte MCF auch zukünftig, bzw. bis zum vorliegen verwertbarer Messergebnisse, genutzt werden.

Die oben beschriebenen Verhältnisse und die Temperaturverteilung im Boden ergeben einen mathematisch gemittelten MCF für Deutschland von 0,173.

Der MCF wird wie folgt ermittelt:

*MCF = (0,35 * 3,5 Monate + 0,1 * 8,5 Monate) / 12 Monate*

0,35 Schätzung von (Gibbs and Woodbury 1993) für Temperaturen > 15° C und 0,1 für Temperaturen < 15° C

Die Emissionen werden folgendermaßen berechnet:

$CH_4 = BSB_{5Jahr} \times B_o \times MCF$

$BSB_{5Y} = P_{Grube} \times BSB_5 \times 365 \times 0{,}001$

Wobei:

MCF = *Methankorrekturfaktor, 0,173*

B_o = *Default – max. CH_4 Bildungskapazität, 0,6 kg CH_4 / kg BSB_5*

P_{Grube} = *an Gruben angeschlossene Personen*

BSB_{5Jahr} = *BSB_5 in g / Jahr*

BSB_5 = *60 g / Tag x Person*

Eine Berechnung mit höheren Anforderungen (höhere Tier-Stufe bzw. Hierarchiestufe), wie für Hauptkategorien gefordert, ist nicht möglich, da die Stoffströme der abflusslosen Gruben nicht separat erfasst werden.

Zur Verifikation des verwendeten MCF siehe Kapitel 7.5.1.1.4.

Die folgende Tabelle zeigt die Einwohnerwerte deutschlandweit und für Einwohner mit Anschluss an abflusslose Gruben. Die Werte wurden für die Jahre 1990-2015 im fünfjährigen Rhythmus und ab 2017 durchgehend dokumentiert und dienen der Nachvollziehbarkeit der in diesem Abschnitt beschriebenen Berechnungen.

Tabelle 454: Einwohner Deutschland gesamt und mit Anschluss an abflusslose Gruben

Einwohner [1000 kpf]	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
Abflusslose Gruben	8234,425	6434,800	1266,667	875,667	575,000	448,609	387,982	367,773	347,564	8234,425
Deutschland gesamt	79753,227	81307,715	81456,617	81336,663	80284,071	82175,684	83019,213	83166,711	83155,031	79753,227

Die **Gesamtemissionen an Methan** aus dem Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung ergeben sich durch Summenbildung der detailliert beschriebenen Emissionen aus Kläranlagen, abflusslosen Gruben und offener Schlammfaulung (siehe Kapitel 7.5.1.2.2.3).

7.5.1.1.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Der MCF wurde an die klimatischen Verhältnisse (langjährige mittlere Bodentemperaturin 1m Bodentiefe), wie unter 7.5.1.1.2 beschrieben, in Deutschland angepasst. Die Unsicherheit des Wertes beträgt ± 20 % (UBA-Expertenschätzung).

Des Weiteren werden folgende Unsicherheiten verwendet (Expertenschätzungen):

- Emissionsfaktor CH_4 aus Kläranlagen = ± 25 %

  Die Unsicherheit ergibt sich aus der in der Literatur (Becker et al. (2012)) angegebenen Bandbreite der CH_4-Emissionen (± 28,6%) und dem daraus abgeleiteten wahrscheinlichen 95'er Perzentil.
- Einwohner mit abflusslosen Gruben = ± 3 %
- BSB_5 = ± 30 %
- B_O = ± 30 %

Die Aktivitätsraten der organischen Fracht in abflusslosen Gruben basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3a). Die Anzahl der Einwohner, die nicht an die öffentliche Kanalisation angeschlossen sind und deren Abwasser über abflusslose Gruben entsorgt wird, wird vom Statistischen Bundesamt alle drei Jahre, ohne Angabe von Unsicherheiten, erhoben. Fehlende Jahre werden linear interpoliert, bzw.

extrapoliert. Eine alternative Datenquelle existiert nicht. Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind, da es sich um eine Totalerhebung handelt, als sehr genau einzustufen.

Bis zum Jahr 1995 wurden die Daten für die alten und neuen Bundesländer getrennt ermittelt, seither wird ein gesamtdeutscher Wert bestimmt. Dies hat auf die Zeitreihenkonsistenz keine Auswirkung.

7.5.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Da es in dem oben beschriebenen Forschungsprojekt (unveröffentlicht, siehe Kapitel 7.5.1.1.2) nicht gelungen ist einen landesspezifischen MCF für die Berechnung der Emissionen aus den abflusslosen Gruben zu ermitteln und die derzeit verwendete Literaturquelle (Gibbs and Woodbury (1993)) unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten problematisch erscheint, wurde der daraus abgeleitete nationale MCF einer mehrstufigen Verifikation unterzogen.

Die Verifikation erfolgte in einem ersten Ansatz anhand der in den, noch nicht in Kraft getretenen, IPCC Refinements (2019) (IPCC, 2019b)} wiedergegebenen Betrachtungen und Angaben, sowie der dort zitierten Literatur. Selbst bei Anwendung der dortigen Vorgaben bezüglich der Temperaturgrenze der biologischen Aktivität von 12 °C, der Verwendung der Lufttemperatur anstatt der Bodentemperatur und der Anwendung des MCF von 0,4 (unterer Wert für abflusslose Gruben), ergäbe sich für Deutschland ein nur wenig abweichender MCF von 0,225 (0,4*5 Monate + 0,1*7 Monate = 0,225). Die in den Refinements hierzu zitierte Studie (Leverenz, 2010) ermittelte im Ergebnis einen MCF von 0,22. Dieser insgesamt nur leicht höhere Wert stützt die grundlegende Plausibilität des für Deutschland abgeleiteten MCF von 0,173. Zusätzlich gibt es in Deutschland einige ganz grundlegende Aspekte, die einen niedrigeren MCF, als den bei Leverenz ermittelten, zur Folge haben. Zum einen ist die leichte Abweichung mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf die abweichenden klimatischen Bedingungen zurückführen, da die durchschnittlichen jährlichen Lufttemperaturen in Deutschland insgesamt niedriger sind als die in San Francisco, Kalifornien .Darüber hinaus werden in Deutschland abflusslose Gruben unter der Erdoberfläche verbaut. Die Mindesteinbautiefe beträgt 0,5 m, was bedeutet, dass nur der Schornstein (direkt über der Bodenoberfläche gelegen) für den Gasausgleich mit der Atmosphäre in Kontakt steht - Luftströmungen von außen in das Innere des Behälters sind also nicht zu erwarten und die Beeinflussung durch evtl. eingetragenen Sauerstoff bleibt außerordentlich gering. Zusätzlich bleiben auch die Temperaturen im Inneren des Behälters von den im Sommer typischerweise hohen atmosphärischen Temperaturen völlig unbeeinflusst. Darüber hinaus sind die mittleren Bodentemperaturen in Deutschland im Sommer insgesamt niedriger als die Lufttemperaturen und somit auch noch einmal niedriger als die Lufttemperaturen in San Francisco. Der Eintrag von warmem Wasser wird als wenig relevant bewertet, da es insgesamt ein geringes Volumen hat und zudem die Kühlwirkung des umgebenden Erdreichs deutlich höher ist als bei umgebender Atmosphäre und wird UBA-intern als wenig relevant bewertet. Außerdem werden in der Studie von LEVERENZ et al (Leverenz, 2010) Systeme mit anschließender Bodenverrieselung betrachtet. In Deutschland handelt es sich hingegen um abflusslose Gruben, die entsprechend häufiger mittels Tankwagen entleert werden müssen. Dies zieht nach sich, wie auch in Leverenz (2010) gezeigt, dass es mehrere Monate benötigt bis eine Methanogenese möglich wird und somit bei häufigerer Entleerung ein niedrigerer MCF zu erwarten ist.
Die Ergebnisse von (Leverenz, 2010) wurden im Folgejahr von (Diaz-Valbuena, 2011) bestätigt, wo die BSB_5-Belastung zusätzlich mit 85 bis 90 g BSB5/EW/d angegeben wurde. Der deutsche

BSB_5-Wert beträgt 60 g BSB_5/EW/d, was bedeutet, das im Vergleich auch weniger organisches Material für die Methanogenese zur Verfügung steht.
In der Gesamtschau der wiedergegebenen Berechnungen und Argumente betrachten wir den deutschen MCF als bestätigt.

Die Verifikation des MCF erfolgte in einem zweiten Ansatz anhand alternativer AR. Hierbei wurde anstelle einer Berechnung der organischen Jahresfracht mittels BSB_5=60g/d*EW eine Berechnung über den spezifischen Abwasseranfall pro Einwohner im dezentralen Bereich (83l/d*EW) und eine mittlere BSB_5-Zulaufkonzentration (750 mg/l) ermittelt (BDZ, 2017). Die alternativen AR wurden aus einer Studie zu Kleinkläranlagen entnommen. Da angenommen werden kann, dass, aufgrund der kostenpflichtigen Abholung des Abwassers aus abflusslosen Gruben, weniger Wasser als bei Nutzern von Kleinkläranlagen verbraucht wird, wurde der obere Wert für die BSB_5-Konzentration angenommen. Die so ermittelten Werte sind fast identisch zu den für die Berichterstattung ermittelten Werten.

Tabelle 455: Verifikation CH_4 aus abflusslosen Gruben

CH_4 aus abflusslosen Gruben [kt]	2015	2016	2017	2018	2019	2020
über BSB5 - Fracht / EW (Gujer)	1,020	0,974	0,928	0,882	0,836	0,790
über BSB5 - Konzentration und Abwasseranfall (BDZ)	1,058	1,010	0,963	0,915	0,867	0,820

Die Anwendung der IPCC Guideline für die Berechnung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung istnicht anwendbar. Der Vergleich mit der IPCC-Methodik und den Default-Werten ergibt für die abflusslosen Gruben ca. eine Verdreifachung der Emissionen. Die Vorgehensweise wird aber, aufgrund der durch die Umgebungstemperatur eingeschränkten Methanogenese als nicht anwendbar eingestuft, weshalb ein landesspezifischer MCF abgeleitet wurde. Auch hier kommt eine auf Deutschland bezogene Methode, basierend auf Messungen, zur Anwendung.

Die Verifikation des MCF von abflusslosen Gruben erfolgte in einem dritten Ansatz anhand eines generellen Vergleichs mit der Vorgehensweise anderer Länder. Dabei wird die gesamte Abwasserbehandlung betrachtet, der MCF (soweit in den betrachteten Berichten vorhanden) ist ein Teil dieser Betrachtung. Die Methodik und resultierende Emissionsfaktoren wurde mit Ländern, die über einen ähnlichen Stand der Abwassertechnik verfügen, verglichen. Es wurde jeweils der NIR 2020 betrachtet, die Vergleichbarkeit der verwendeten Parameter ist insgesamt gut. Im Detail zeigte sich Folgendes:

- Österreich: Analoge Methodik zur Ermittlung der Emissionen aus abflusslosen Gruben mit geringfügig höherem MCF (0,27). Dieser ist auf abweichende Temperaturen zurückzuführen, wobei unklar ist, ob hier Luft- oder Bodentemperaturen herangezogen wurden. Keine Berücksichtigung von Emissionen aus der Abwasserbehandlung auf Kläranlagen bzw. Schlammbehandlung.
- Schweiz: Keine Berücksichtigung der nicht ans öffentliche Kanalnetz angeschlossenen Einwohner. Aufgrund des geringen Anteils werden diese als vernachlässigbar angesehen. Ein weiteres Argument für die Vernachlässigung sind die, wie auch in Deutschland, zumeist unterirdische Installation der Anlagen sowie die niedrige Durchschnittstemperatur. Die Emissionen aus zentralen Kläranlagen werden zusammengefasst für kommunales und industrielles Abwasser betrachtet. Zur Berechnung werden die IPCC-Methodik und Default-Werte herangezogen. Insgesamt ergibt dies einen EF von 0,89 kg CH_4/EW*a. Der EF für Deutschland (für 2018 0,21 kg CH_4/EW*a) liegt in der gleichen Größenordnung, ist allerdings niedriger.

- Niederlande: Berücksichtigung von abflusslosen Gruben. Diese werden gemäß IPCC-Guideline berechnet. Die Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung werden anhand der IPCC-Guidelines mittels landesspezifischen EF berechnet. Auf die Einwohner bezogen ergibt sich ca. ein EF = 0,46 kg CH_4/EW*a. Dieser liegt nahe dem für Deutschland eingesetzten EF.
- Dänemark: Berechnung für zentrale und dezentrale Systeme, sowie anaerobe Systeme (z.B. Klärschlammstabilisierung) inklusive industrielles Abwasser. Zur Berechnung werden die Methoden nach IPCC-Guidelines, allerdings unter Bezug auf landesspezifische EF, angewendet. Der EF für die gesamten Emissionen aus dem Abwasserbereich bezogen auf die Einwohnerzahl entspricht EF = 0,35 kg CH_4 /EW*a. Auch dieser Wert liegt nahe dem für Deutschland entsprechenden EF.

Der Vergleich des IEF im Bereich der Methanemissionen mit den IEF anderer Länder (GHG Locator 2020) zeigt einen leicht höheren Wert, als bei den meisten vergleichbaren Ländern. Dies wird auf die beschriebene, von den IPCC-Guidelines abweichende, Berechnungsmethode und die zusätzliche Berücksichtigung des teilweise ausgefaulten Abwassers aus abflusslosen Gruben und Kleinkläranlagen bei der Betrachtung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung zurückgeführt.

7.5.1.1.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Der unter 7.5.1.1.2 beschriebene Ansatz zur Ermittlung der Methanemissionen aus abflusslosen Gruben wird für die Berichterstattung im ZSE (Zentrales System Emissionen) anhand des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und der organischen Jahresfracht (TOW) Deutschlands errechnet. Durch die Anpassung des Faktors I von 1,25 (Default 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.2.2.3, Gleichung 6.3) auf 1,3 (ca. 30% gewerbliche bzw. industrielle Abwässer als Indirekteinleiter; siehe Kapitel 7.5.1.3.2 zu $F_{IND-COM}$), verändern sich beide Werte, wie in der folgenden Tabelle zu sehen ist. Dies hat jedoch aufgrund der Methodik keine Auswirkungen auf die Emissionen.

Tabelle 456: Rückrechnung von IEF und TOW aufgrund Anpassung des Faktors I

Bezeichnung	Einheit		1990	2000	2010	2015	2017	2018	2019
Organische Fracht (BSB5Jahr) D. ges.	[kt/a]	NIR2022	2270,574	2319,070	2285,688	2339,542	2357,098	2363,557	2367,756
Organische Fracht (BSB5Jahr) D. ges.	[kt/a]	NIR2021	2183,245	2229,875	2197,776	2249,559	2266,441	2272,651	2276,689
Impliziter Emissionsfaktor	[kg/kg]	NIR2022	0,00824402	0,001241624	0,000571864	0,000435892	0,000393665	0,000373153	0,000353089
Impliziter Emissionsfaktor	[kg/kg]	NIR2021	0,00857378	0,001291289	0,000594738	0,000453327	0,000409412	0,000388079	0,000367213

7.5.1.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Abwasserbehandlung)

In einem nationalen Forschungsvorhaben wurden für Methan- und Lachgasmessungen durchgeführt. Hieraus sollen für den Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung Emissionsfaktoren auf Grundlage dieser Messungen abgeleitet werden. Das Vorhaben ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Grund hierfür sind Verzögerungen bei der fachlichen Bewertung des Vorhabens bedingt durch die Pandemiesituation und Aufgabenwechsel durch Umstrukturierungen der betroffenen Facheinheit im UBA. Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse durch das UBA kann erst nach Abschluss des Projektes erfolgen.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.5.1.2 Methanemissionen der kommunalen Schlammbehandlung (5.D.1 Schlammbehandlung)

7.5.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Schlammbehandlung)

Die Behandlung von kommunalem Schlamm besteht in aller Regel aus zwei Behandlungsschritten:

- Entwässerung: maschinelle Verfahren (Kammerfilterpresse, Zyklon), Verdunstung in Schlammentwässerungsbecken oder Trockenbeeten
- Stabilisierung: Aerobe Stabilisierung (offenes Becken mit Sauerstoffeinleitung) oder anaerobe Stabilisierung im Faulturm;
- (Bis 1993: Offene Schlammfaulung)

Der bei der Abwasserbehandlung entstehende Sekundär- bzw. Überschussschlamm sowie der Primärschlamm werden gemeinsam im Faulturm anaerob behandelt und damit anaerob stabilisiert. Dabei entsteht Faulschlamm, der nach weiterer Aufbereitung die Abwasserbehandlungsanlage als Klärschlamm verlässt. Mit diesem Verfahren ist sichergestellt, dass der Klärschlamm keine leicht biologisch abbaubaren Stoffe mehr enthält und ausgefault ist. Es wird davon ausgegangen, dass aus ausgefaultem Schlamm keine weiteren Methanemissionen entstehen. Die Emissionen aus der Schlammbehandlung sind integraler Bestandteil des unter 7.5.1.1.2 beschriebenen Emissionsfaktors. Daher sind alle vom Klärschlamm ausgehenden Emissionen in 5.D.1 erfasst. Es finden keine Emissioen in anderen Sektoren statt. Angaben zu den Mengen des Schlammes vor der Faulung sind nicht verfügbar.

Die Schlammstabilisierung erfolgt, um eine unkontrollierte Faulung zu verhindern. Diese erfolgt bei größeren Anlagen aerob und kann bei kleineren Anlagen aerob erfolgen oder zur anaeroben Stabilisierung zu größeren Anlagen transportiert werden.[138]. Die Menge an bei der anaeroben Schlammstabilisierung entstehenden Faulgases hängt insbesondere von der Zusammensetzung des Schlamms, der Temperatur sowie den Reaktionsbedingungen ab. Das entstehende Gas wird in der Regel energetisch in Blockheizkraftwerken (BHKW) genutzt und unter 1.A.1 berichtet.

Bezogen auf die Einwohnerwerte stellt die maschinelle *Entwässerung* vor bzw. nach Behandlung im Faulturm derzeit das überwiegende Behandlungsverfahren dar (Ausnahme: kleine ländliche Kläranlagen). Dazu kommt, dass der Schlamm vor der weiteren Verwendung noch stabilisiert wird.

Noch bis Anfang der 90er Jahre wurde in den neuen Bundesländern die offene Schlammfaulung zur Schlammstabilisierung betrieben, die zur Emission von Methan führte. Die offene Schlammfaulung hat heutzutage keine Relevanz mehr. Sie wurde schrittweise reduziert und 1994 eingestellt. Die Emissionen aus der offenen Schlammfaulung sind jedoch auch heute noch der Grund, weshalb in den CRF unter diesem Punkt NO berichtet wird, anstelle von IE (für die energetische Nutzung unter 1.A.1 – siehe oben), denn bis einschließlich 1993 gab es diese Technik und die damit verbundenen Emissionen.

Der Klärschlamm sowie das behandelte Abwasser sind die Endprodukte der Abwasserbehandlung.

Der nach der biologischen Abwasserbehandlung anfallende Klärschlamm wird in Deutschland (ggf. nach der Entwässerung und Stabilisierung) den folgenden Entsorgungswegen zugeführt:

[138] Im Jahr 2016 wurde in 1.258 Abwasserbehandlungsanlagen Faulgas gewonnen (Statistisches Bundesamt, 2017).

- Thermische Verwertung: Es entstehen keine Methanemissionen. Die thermische Verwertung erfolgt unter energetischer Nutzung und geht daher in CRF 1 ein.
- Stoffliche Verwertung: Zur stofflichen Verwertung des Klärschlamms zählen insbesondere die Verwertung als Sekundärrohstoffdünger in der Landwirtschaft laut Klärschlammverordnung sowie Düngemittelverordnung sowie Nutzung bei landschaftsbaulichen Maßnahmen und weiteren Einsatzbereichen, die zu vernachlässigen sind.

Tabelle 457: Verwertung von ausgefaultem Klärschlamm

Klärschlamm Trockenmasse TM [t]	2016	2017	2018	2019	2020
Gesamtmenge	1.773.186	1.713.185	1.747.230	1.740.089	1.740.089
Thermische Verwertung	*1.142.893*	*1.190.156*	*1.295.188*	*1.293.246*	*1.293.246*
- Monoverbrennung	*460.411*	*478.493*	*496.463*	*490.141*	*490.141*
- Mitverbrennung	*615.928*	*648.108*	*761.959*	*768.961*	*768.961*
- unbekannt	*66.554*	*63.555*	*36.766*	*34.144*	*34.144*
Deponie	0	0	0	0	0
Stoffliche Verwertung	*624.000*	*516.158*	*436.146*	*433.723*	*433.723*
- Landwirtschaft	*423.497*	*311.905*	*280.325*	*287.484*	*287.484*
- Landschaftsbauliche Maßnahmen	169.439	171.633	122.615	58.597	58.597
- Kompostierung	0	0	0	0	0
- Sonstiges	31.064	32.620	33.206	87.642	87.642
sonstige direkte Verwertung	6.293	6.871	15.896	13.120	13.120

Die Aktivitätsraten der Klärschlammverwertung basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, ab 2010). Dieser Bericht erscheint 3-jährlich. Für die Zwischenjahre wird auf die Veröffentlichung „Wasserwirtschaft Öffentliche Abwasserentsorgung Klärschlammentsorgung aus der biologischen Abwasserbehandlung“ (Statistisches Bundesamt, ab 2013) zurückgegriffen. Für die Zeit vor 1998 und die Jahre 1999-2000, 2002-2003 sowie 2005 existieren keine Daten. Eine Interpolation ist nicht möglich, da eine Summenbildung auf 100% aufgrund einer statistischen Umstellung ab 2007 nicht möglich ist (Wiechmann et al., 2013). Zahlen für das aktuelle Inventarjahr liegen nicht vor, weshalb an dieser Stelle nur die Daten der Vorjahre aufgeführt werden können. Für 2013 berichtete das Statistische Bundesamt zum ersten Mal unter „sonstige direkte Verwertung“ [139].

Die Aktivitätsraten der Klärschlammverwertung für die vorigen Jahre können den entsprechenden Fassungen des NIR entnommen werden.

7.5.1.2.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Schlammbehandlung)

7.5.1.2.2.1 Faulgas

Wie oben beschrieben, wird das bei der Faulung in größeren Kläranlagen entstehende Faulgas gefasst und zur Energieerzeugung verwendet. Der Gehalt an Methan im Faulgas beträgt annähernd 65 % (Schön et al., 1993). Die Ermittlung der Methanmenge im Rohgasvolumen (Statistisches Bundesamt, ab 2012) erfolgt auf folgende Weise:

$$M_{Methan} = V_{Rohgas} \times 0{,}65 \times \sigma \times 0{,}000001$$

Wobei:

M_{Methan} = Masse erzeugtes Methan bei der Faulung (kt)

V_{Rohgas} = Volumen erzeugtes Faulgas (m3)

0,65 = Umrechnungsfaktor Gehalt Methan im Faulgas

σ = Dichte Methan (0,717 kg/m3) (Vogel & Synowietz, 1974)

[139] Hierzu zählt auch die Abgabe an Trocknungsanlagen, wenn die weitere Entsorgung nicht bekannt ist.

7.5.1.2.2.2 Faulgasverluste

Die Daten zur Faulgasgewinnung und zur Klärschlammverwendung werden auf Grundlage des Energiestatistikgesetzes jährlich durch die Betreiber an das Statistische Bundesamt berichtet. Eigene Rückfragen bei einigen Abwasserbehandlungsanlagen mit Faulgasgewinnung ergaben, dass die Verluste bezogen auf die potentielle energetische Verwertung der Anlagen bei 5 % angenommen werden können. Dies bestätigen auch die Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, ab 2012). Es wird angenommen, dass dieses Gas überwiegend über Fackeln verbrannt werden. Diese Fackelverluste entstehen bei der Gasfassung durch technischen Schwierigkeiten, Havarien und Instandhaltungsmaßnahmen. Für solche Fälle ist aus Sicherheitsaspekten eine Abfackelung vorgesehen. Die Gasfackeln werden so ausgelegt, dass sie im Notfall das gesamte anfallende Gas verbrennen können und sind mit einer automatischen Zündung ausgerüstet. Ein weiterer Grund für die berichteten Verluste können die unterschiedlichen Messgenauigkeiten zwischen den Messungen an den Gasanfall- und den Verbrauchsstellen sein. Eine gesonderte Messung des über die Fackel geführten Gases erfolgt i.d.R. nicht, so dass an dieser Stelle keine genauere Aussage über die Art der Verluste getroffen werden kann.

Ggf. auftretende Verluste auf den Anlagen werden durch die unter 7.5.1.1.2 beschriebenen Berechnungen abgedeckt, da der Bereich der Schlammbehandlung bei der Ermittlung des Emissionsfaktors mit einbezogen wurde.

7.5.1.2.2.3 Offene Schlammfaulung

Die offene Schlammfaulung wird in Deutschland heute nicht mehr angewendet.Die Daten wurden für die Jahre 1990 – 1994 zuletzt im NIR 2015 berichtet. Für die offene Schlammfaulung in den neuen Bundesländern wird ein Emissionsfaktor von 210 kg CH_4/t TS angesetzt, basierend auf Ergebnissen der Studie Schön et al. (1993)[140]. Die Aktivitätsraten für die Jahre 1990 bis 1992 wurden dem Umweltbundesamt persönlich durch den damaligen Hauptinspekteur der Wasseraufbereitungsbetriebe der DDR mitgeteilt.

Vor dem Hintergrund, dass in der Bundesrepublik Deutschland die offene Schlammfaulung verboten ist, wurde diese Art der Behandlung in den neuen Bundesländern schrittweise abgeschafft und ab dem Jahr 1994 komplett eingestellt.

7.5.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Schlammbehandlung)

7.5.1.2.3.1 Faulgas

Die Unsicherheiten bei der Ermittlung und Berechnung der Methanmenge werden wie folgt eingeschätzt (UBA-Expertenschätzung):

Erzeugtes Faulgasvolumen = ± 5 %

Unsicherheiten liegen in der Messungenauigkeit der Messgeräte begründet

Methangehalt im Faulgas = ± 15 %

variiert mit der Zusammensetzung des jeweiligen Abwassers und damit des Schlammes

Dichte von Methan = ± 30 %

die Angaben zur Dichte von Methan in der Literatur variieren (abhängig von Temperatur usw.)

140 Der Emissionsfaktor wurde ermittelt, indem die Differenz aus den Methanemissionen der psychrophilen Schlammstabilisierung in den neuen Bundesländern und der anfallenden Klärschlammenge gebildet wurde.

Die Angabe der erzeugten Faulgasmenge beruht auf Angaben des statistischen Bundesamtes. Die Zeitreihen sind in sich konsistent. Die Erhebungen erfolgen jährlich. Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind als genau einzustufen.

7.5.1.2.3.2 Offene Schlammfaulung

Die Unsicherheiten der offenen Schlammfaulung wurden nicht abgeschätzt, weshalb auf die Default-Werte (Konservative Faktoren) der UNFCCC Decision 20/CMP.1 (UNFCCC, 2006) zurückgegriffen wird. Die Aktivitätsraten zwischen 1990 und 1992 basieren auf einer persönlichen Mitteilung des damaligen Hauptinspekteurs der Wasseraufbereitungsbetriebe der DDR, die für 1993 hingegen auf einer Abschätzung des Umweltbundesamtes.

7.5.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Schlammbehandlung)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Der für die Ermittlung des Methangehalts im Klärgas verwendete durchschnittliche Methangehalt von Klärgas von 65 % (Schön et al., 1993) wurde mit Daten des Statistischen Bundesamts verglichen (Statistisches Bundesamt, ab 2012). Für 2015 wurde eine durchschnittlicher Methangehalt inKlärgas von 63,17 % aus den Daten des Statistischen Bundesamtes entnommen. Der verwendete Wert gilt damit als verifiziert.

Vergleichbare Emissionsdaten für Deutschland oder alternative Daten zur Methangewinnung aus Kläranlagen sind nicht bekannt.

7.5.1.2.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Schlammbehandlung)

Die Werte für Klärschlammgewinnung und Verluste für das Jahr 2019 wurden im letzten Bericht mittels der Werte für 2018 fortgeschrieben. Zwischenzeitlich waren die Warte für 2019 durch das Statistische Bundesamt verfügbar gemacht worden, so dass nun diese Werte eingesetzt werden konnten.

7.5.1.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Schlammbehandlung)

Zurzeit erscheinen Verbesserungen als nicht notwendig oder möglich, da keine weiteren Aktivitätsdaten verfügbar sind.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.5.1.3 Lachgasemissionen aus dem kommunalen Abwasser (5.D.1 Lachgas kommunal)

7.5.1.3.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Lachgas kommunal)

Kommunales Abwasser enthält eine Vielzahl Stickstoffverbindungen. Im Verlauf bakterieller Abbauprozesse wird ein Teil des organisch verfügbaren Stickstoffs wieder in Biomasse umgewandelt.

Direkte Emissionen: Um den verbleibenden Stickstoff im Abwasser weitestgehend zu eliminieren, werden in Deutschland, ergänzend zur biologischen Abwasserbehandlung, nahezu alle kommunalen Kläranlagen mit einer zusätzlichen Nitrifikations- und Denitrifikationsstufe betrieben. Bei der Nitrifikation werden unter aeroben Bedingungen die im Abwasser enthaltenen Stickstoffverbindungen in Nitrat und bei der Denitrifikation wird der im Nitrat

gebundene Stickstoff zu molekularem Stickstoff und Stickoxiden umgewandelt. Unter ungünstigen Bedingungen (siehe auch Kapitel 7.5.2.2.1) kann dabei auch Lachgas (N_2O) als Nebenprodukt/Zwischenprodukt bei beiden Prozessen entstehen, wobei die Denitrifikation als Quelle zu dominieren scheint (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.1 Seite 6.8).

Indirekte Emissionen: Der nach Abschluss der Abwasserbehandlung im Abwasser verbleibende Stickstoff gelangt in die Gewässer. Dort können unter Umständen mikrobielle Abbauprozesse stattfinden, in deren Verlauf u.a. Lachgas gebildet und emittiert werden kann.

Für die Ermittlung der Gesamtemissionen an Lachgas, die aus dem kommunalen Abwasser entstehen, werden die direkten Lachgasemissionen (N_2O_{PLANTS}) und die indirekten Lachgasemissionen ($N_2O_{Effluent}$) bestimmt. Die Gesamtemission ergibt sich wie folgt:

$$N_2O_{Gesamt} = N_2O_{PLANTS} + N_2O_{Effluent}$$

Der Trend der Emissionen war aufgrund des starken Ausbaus der Denitrifikationstechnik in den Abwasserbehandlungsanlagen im Zeitraum von 1990 bis etwa 2001 stark fallend. Ursache hierfür war die Umsetzung der Kommunalabwasserrichtline der EU (91/271/EWG, 1991), die Anfang der 1990er Jahre die Nährstoffelimination in Kläranlagen zum Stand der Technik machte. Mit dem erreichten hohen Niveau dieser Technologie seit etwa 2005 hat sich der Trend der Emissionen als leicht fallend etabliert.

7.5.1.3.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Lachgas kommunal)

Direkte Emissionen

Gemäß 2006 IPCC Guidelines sind direkte Emissionen nur von Ländern zu berichten, die über fortschrittliche Abwasserbehandlungsanlagen verfügen. Diese sind durch Nitrifikations- und Denitrifikationsstufen charakterisiert. Wie oben beschrieben entstehen Lachgasemissionen gemäß IPCC (ebd.) überwiegend bei der Denitrifikation. Aus diesem Grund wird im Folgenden der Grad der Ausstattung der deutschen Kläranlagen mit Denitrifikationstechnologien zur Berechnung herangezogen (T_{Plant}) und nicht der mit Nitrifikationstechnologien. 97 % der Kläranlagen besitzen eine Nitrifikation und 96 % eine Denitrifikation (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3a). Für die Berechnung der Lachgasemissionen werden kommunale Kläranlagen berücksichtigt, die mit einer Denitrifikation ausgestattet sind.

Gemäß 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.3.1.3, Gleichung 6.9) werden die Lachgasemissionen wie folgt berechnet:

$$N_2O_{PLANTS} = P \bullet T_{PLANT\ DENI} \bullet F_{IND\text{-}COM} \bullet EF_{PLANT}$$

Wobei:

N_2O_{PLANTS}	=	gesamte jährliche N_2O Emission der Anlagen in kg N_2O/Jahr)
P	=	Bevölkerung
$T_{PLANT\ DENI}$	=	Grad der Nutzung moderner Kläranlagen mit Denitrifikation in %/100 (d.h. bezogen auf die gesamte Abwasserfracht in Deutschland)
$F_{IND\text{-}COMM}$	=	Anteil des industriellen / kommerziellen, mit dem Abwasser entsorgten Proteins, landesspezifisch angepasster Wert = 1.3
EF_{PLANT}	=	Emissionsfaktor, 3.2 g N_2O/Person x Jahr

Während für den Lachgasemissionsfaktorder IPCC Default-Wert verwendet wird, sind die Zahl der Einwohner (P = Bevölkerung), der Grad der Nutzung moderner zentralisierter Abwasserbehandlungsanlagen mit Denitrifikation ($T_{PLANT\ DENI}$) und der Anteil des über kommunale Anlagen entsorgten Eiweißes aus Industriebetrieben und Betrieben des produzierenden Gewerbes ($F_{IND\text{-}COMM}$) landesspezifisch ermittelte Werte.

Aufgrund des Anteils von gewerblichen bzw. industriellen Abwässern (2016: 38.478.100 Einwohnergleichwerte, EWG = 32,8%) an der Gesamtfracht des in kommunalen Kläranlagen (2016: 117.448.800 Einwohnerwerte gesamt, EW = 100%) (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3b) behandelten Abwassers von ca. 30% , wurde $F_{IND-COMM}$ auf 1,3 festgelegt.

Indirekte Emissionen

Gemäß der in der 2006 IPCC Guidelines vorgeschlagenen Vorgehensweise wird zunächst die Jahresgesamtmenge Stickstoff im Abwasserablauf ermittelt. Dies hat für Länder mit fortschrittlichen Kläranlagen unter Berücksichtigung der folgenden Formel zu erfolgen:

$$N_{EFFLUENT} = (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_{SLUDGE} - N_{WWT}$$

(IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.3.1.3.Gleichung: 6.8)

Wobei:

$N_{EFFLUENT}$	=	Jahresgesamtmenge Stickstoff im Abwasserablauf in kg N/Jahr
P	=	Bevölkerung
Protein	=	Protein-Pro-Kopf -Verbrauch in kg/Person/Jahr
F_{NPR}	=	Stickstoffanteil im Protein, Default = 0.16 kg N/kg Protein
$F_{NON-CON}$	=	Faktor des nicht konsumierten Proteins im Abwasser, Default = 1,1
$F_{IND-COM}$	=	Faktor des industriellen / kommerziellen, mit dem Abwasser entsorgten Proteins, landesspezifisch angepasster Wert = 1.3
N_{SLUDGE}	=	Mit dem Schlamm entfernter Stickstoff, Default = 0 in kg N/Jahr
N_{WWT}	=	Stickstoffanteil, des bei der Abwasserbehandlung entstehenden Lachgases
	=	N_2O_{PLANTS} x 28/44 in kg N/Jahr
28/44	=	Umrechnungsfaktor N_2O in N_2

Nach UBA-Experteneinschätzung ist diese Methodik aber fehlerhaft und allein nicht zielführend, da sie die N-Eliminationsleistung der Denitrifikationsstufe in den Kläranlagen nicht berücksichtigt . Um realitätsnahe Werte zu berechnen, ist die obige Gleichung wie folgt anzupassen.

Für die Jahre 2006-2013 liegen Daten zum durchschnittlichen N-Gehalt des Abwassers in Deutschland im Zulauf (N_{Zulauf}) und Ablauf (N_{Ablauf}) der deutschen Kläranlagen vor (DWA, ab 1988 - jährlich). Aus diesen Daten wurde eine durchschnittliche N-Eliminationsleistung der biologischen Kläranlagen in Deutschland von 81,2 % für die genannten Jahre berechnet. Für die Ermittlung von $T_{Plant\ Deni}$ wurden die Kläranlagen mit Denitrifikation herangezogen, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu erhalten. Im Folgenden muss zum einen die Eliminationsleistung der Kläranlagen mit Denitrifikation[141] und zum anderen die N-Fracht des Anlagenbestands ohne biologische Behandlung berücksichtigt werden. Der N_{WWT} reicht hierfür nicht aus, denn er berücksichtigt nur den Stickstoffanteil des entstehenden Lachgases (direkte Emissionen), nicht aber den N-Anteil des bei der Denitrifikation entstehenden molekularen Stickstoffs. Der N_{WWT} wird daher bei der Ermittlung nicht berücksichtigt. Zusätzlich wird auch der Faktor N_{SLUDGE} nicht berücksichtigt, da der von Deutschland verwendete Wert für N_{SLUDGE} gleich 0 ist und die Entfernung des Stickstoffs aus dem Schlamm bereits durch den neuen $F_{ELIMINATION}$ berücksichtigt wird. Daraus ergibt sich folgende Berechnungsformel:

$$N_{EFFLUENT} = (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND\ COM})$$

Diese Formel gilt für Anlagen ohne Stickstoffelimination.

[141] Es werden nur die Anlagen mit Denitrifikatin betrachtet, da hier die Bildung von Lachgas wahrscheinlicher ist. Der DWA unterscheidet bei seiner Erfassung nicht in einzelne Behandlungsstufen.

Zur Berechnung der N-Fracht ($N_{EFFLUENT\ mit}$) im Ablauf von Anlagen **mit** Stickstoffelimination wird nun der Eliminationsfaktor $F_{ELIMINATION}$ eingeführt. Die Formel lautet wie folgt:

$$N_{EFFLUENT\ mit} = (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - F_{ELIMINATION}) \times T_{PLANT\ Deni.}$$

Wobei:

$F_{ELIMINATION}$ = Faktor für die Eliminationsleistung von Stickstoff in Abwasserbehandlungsanlagen = N Ablauf / N Zulauf = 81,2 / 100 (DWA, ab 1988 - jährlich)

$T_{PLANT\ Deni}$ = Grad der Nutzung moderner Kläranlagen in %/100 (d.h. bezogen auf die gesamte Abwasserfracht in Deutschland)

$N_{EFFLUENT\ mit}$ = N-Fracht im Ablauf von Kläranlagen (Anlagen mit N-Elimination)

$N_{EFFLUENT\ ohne}$ = N-Fracht im Ablauf von Kläranlagen (Anlagen ohne N-Elimination)

Die N-Fracht ($N_{EFFLUENT\ ohne}$) im Ablauf von Kläranlagen ohne biologische Behandlung wird wie folgt berechnet:

$$N_{EFFLUENT\ ohne} = (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - T_{PLANT\ Deni.})$$

Im Anschluss werden die Stickstofffrachten im Abwasserablauf für Kläranlagen mit Denitrifikation und für Kläranlagen ohne biologische Behandlung addiert und ergeben die Gesamt N-Fracht im Ablauf aller Kläranlagen:

$$N_{EFFLUENT} = N_{EFFLUENT\ mit} + N_{EFFLUENT\ ohne}$$

$$= (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - F_{ELIMINATION}) \times T_{PLANT\ Deni.} + (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - T_{PLANT\ Deni.})$$

Das Ergebnis des oben beschriebenen Vorgehens konnte durch Heranziehung alternativer Daten (UBA, 2016) verifiziert werden und erscheint damit korrekt (siehe Kapitel 7.5.1.3.6).

Für den Lachgasemissionsfaktor und den Stickstoffanteil im Eiweiß werden die IPCC Default-Werte verwendet. Für die durchschnittliche Pro-Kopf Eiweißzufuhr,für den Anteil des über kommunale Anlagen entsorgten Eiweißes aus Industriebetrieben und Betrieben des produzierenden Gewerbes ($F_{IND-COM}$) sowie die Zahl der Einwohner werden landesspezifisch ermittelte Werte verwendet. Der Wert für nichtkonsumiertes Eiweiß in den Haushalten ($F_{NON-CON}$) ist so niedrig, da die Abfallentsorgung über das Abwasser (Küchenabfallzerkleinerer) in Deutschland nicht verbreitet ist.Ein generelles Verbot für deren Nutzung gibt es nicht. Im Einzelnen ist dies in den örtlichen Abwassersatzungen geregelt. Aus UBA-Sicht ist die Einbringung von Küchenabfällen in den Abwasserstrom, der Transport und die notwendige Abtrennung auf Kläranlagen aufgrund des Energie- und Trinkwasserverbrauches nicht sinnvoll.

Seit dem Jahr 2015 werden ausschließlich die Daten der Datenbank FAOSTAT (FAOSTAT, ab 2015) für die Ermittlung der durchschnittlichen Eiweißzufuhr pro Person und Tag für den gesamten Berichtszeitraum verwendet. Die Daten unterscheiden sich nur unwesentlich von den Daten des Statistical Yearbook der FAO. Die FAO-Daten bilden die Versorgung mit Protein ab. Durch nicht verzehrte Lebensmittel (Entsorgungen im Handel, Privathaushalt; Produktionsabfälle, etc.) liegt der tatsächliche, für den Abwasserpfad relevante, Proteinverbrauch allerdings deutlich niedriger. Da keine Daten zum tatsächlichen Verbrauch vorliegen, wird zur Umrechnung der Versorgung in den Verbrauch ein Faktor von 0,8 eingesetzt: Gemäß (Insitut, 2019) werden ca. 64 Mio. t Lebensmittel in Deutschland erzeugt und ca. 12 Mio. t Lebensmittel unverzehrt entsorgt. Der resultierende Anteil an entsorgten Lebensmitteln beträgt ca. 20% und ergibt den oben eingeführten Faktor.

Die Lachgasemissionen werden gemäß IPCC- wie folgt ermittelt.

$$N_2O_{\text{Emissions}} = N_{EFFLUENT} \times EF_{EFFLUENT} \times 44/28$$

Wobei:

$N_2O_{\text{emissions}}$	= N_2O Emissionsen in, kg N_2O/Jahr
$N_{EFFLUENT}$	= Stickstoff, der in die aquatische Umwelt ausgetragen wird in kg N/Jahr
$EF_{EFFLUENT}$	= Emissionsfaktor für N_2O Emissionen, die ins Abwasser ausgetragen werden in kg N_2O-N/kg N (Default = 0,005)
44/28	= Umrechnungsfaktor von N_2O-N in N_2O

Eine Berechnung mit höheren Tier-Methoden ist aufgrund der Vielzahl an Anlagen nicht möglich. Zudem werden die Stoffströme der Kläranlagen vom Statistischen Bundesamt nicht separat ausgewiesen.

Die **Gesamtemissionen an Lachgas** aus dem Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung ergeben sich durch Summenbildung der detailliert beschriebenen direkten und indirekten Emissionen.

7.5.1.3.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Lachgas kommunal)

Es werden folgende Unsicherheiten verwendet (alle UBA-Expertenschätzung):

P (Bevölkerungszahlen)	=	± 5 %
$T_{PLANT\ DENI}$ (Kläranlagen mit Denitrifikation)	=	± 5 %
$F_{IND\text{-}COMM}$	=	± 25 %
Proteinverbrauch	=	± 25 %

Die Aktivitätsraten basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes. Die Bevölkerungszahl in Deutschland wird jährlich, die Menge des in Abwasserbehandlungsanlagen mit Denitrifikation behandelten Abwassers alle drei Jahre (ohne Angabe von Unsicherheiten) erhoben. Die Ergebnisse der Erhebungen sind, da es sich um Totalerhebungen handelt, als sehr genau einzustufen. Werte für die Jahre vor 1998 wurden extrapoliert und sind plausibel, da mit Beginn der 1990er Jahre in Deutschland die Stickstoffelimination in Kläranlagen ausgebaut wurde. Die Jahre nach 2013 wurden fortgeschrieben. Alle sonstigen fehlenden Daten wurden linear interpoliert.

Die Unsicherheiten für den EF_{Plant} werden den (IPCC (2006b):, Vol. 5, Tabelle 6.11) entnommen und liegen bei - 37,5 % und + 150 %. Dieser Wert ist aus UBA-Expertensicht plausibel

Für die durchschnittliche N-Eliminationsleistung der deutschen Kläranlagen wird die Unsicherheit auf ± 5 % geschätzt.

Die durchschnittliche tägliche Proteinversorgung ab 1990 ist der Datenbank (FAOSTAT, ab 2015) entnommen. Der Wert musste mangels aktuellerer Daten ab 2017 fortgeschrieben werden. Die Unsicherheit für den daraus errechneten Proteinverbrauch wird auf ± 25% festgelegt (UBA-Expertenschätzung).

Der Anteil an Stickstoff im Eiweiß (F_{NPR}) beträgt im Mittel 16 % ± 1%. Dieser Wert bezieht sich auf Rinderserumalbumin (Bovine serum albumin) als Standardprotein. Die Unsicherheit läge entsprechend der oben genannten Standardabweichung (± 1%) bei rund ± 6 % (bezogen auf den 16%-Anteil), wird aber auf insgesamt ± 7 % geschätzt, da im Abwasser ein breiteres Eiweißspektrum enthalten ist (UBA-Expertenschätzung).

Des Weiteren werden folgende Unsicherheiten verwendet (alle UBA-Expertenschätzung)

$F_{NON\text{-}CON}$, = ± 30 %

$F_{IND\text{-}COM}$ = ± 25 %

Die Unsicherheiten für den $EF_{EFFLUENT}$ werden den (IPCC (2006b): Vol. 5, Tabelle 6.11} entnommen.

7.5.1.3.4 Quellgruppenspezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Lachgas kommunal)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Verifikation der mittels $F_{ELIMINATION}$ angepassten Formel zur Ermittlung des N-Ablauf in das Gewässer erfolgte mit den im Leistungsvergleich kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen veröffentlichten Durchschnittswerten für die N-Einleitung in Gewässer (DWA, ab 1988 - jährlich). Derzeit wird mit Daten für die Jahre 2006-2015 verifiziert. Als weitere Datenquelle zur Verifizierung werden die Daten der Kommunalabwasserrichtlinie (Berichterstattung der Bundesregierung an die EU gemäß 91/271/EWG (UBA, 2016))verwendet. Beide Datenquellen sind vollständig unabhängig von den für die oben dargestellte Berechnungsmethode verwendeten Daten. In der nachfolgenden Tabelle werden die Ergebnisse der Berechnungen des $N_{Effluent}$ (indirekte Emissionen) auf Basis der IPCC 2006 Methode, der angepassten IPCC Methode (Stickstoffeliminationsfaktor $F_{Elimination}$), den vom DWA erfassten Messergebnissen, nach einer Mischmethode aus DWA-Daten und Daten des Statistischen Bundesamtes und zusätzlich nach den Daten der Kommualabwasserrichtlinie , dargestellt.

Tabelle 458: Vergleich $N_{EFFLUENT}$ nach verschiedenen Quellen; (kt N/Jahr)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nach IPCC 2006										
$N_{EFFLUENT}$	646,3	666,4	656,6	662,6	656,7	665,0	658,1	658,7	673,7	686,6
Angepasste MethodeIPCC 2006										
$N_{EFFLUENT}$	157,3	154,2	150,7	150,8	148,3	148,8	145,9	144,7	150,3	155,6
N-Ablauf & Abwassermenge DWA										
$N_{EFFLUENT}$	71,5	86,1	86,5	82,7	87,0	77,9	79,1	81,7	72,8	72,3
N-Ablauf DWA & Abwassermenge Statistisches Bundesamt										
$N_{EFFLUENT}$	80,8	90,6	95,4	95,1	92,9	90,4	88,9	87,4	84,8	84,1
Auf Basis von (UBA 2016)										
$N_{EFFLUENT}$			87,3	-	82,6	-	83,1	-	75,1	-

Die N-Fracht im Effluenten ($N_{EFFLUENT}$) nach der oben vorgestellten modifizierten Methode liegt deutlich unter den nach der IPCC_methode ermittelten Werten. Die mit der angepassten IPCC-Methode berechneten Werte werden durch die zur Verifizierung herangezogenen Datenquellen bestätigt - die Ergebnisse liegen alle in der gleichen Größenordnung, wobei die angepasste Methode insgesamt die höchsten Werte erzeugt und damit auch als konservativ eingeschätzt werden kann. Die bestehende, etwas deutlichere Abweichung der angepassten Methode lässt sich auf den verwendeten IPCC-Default-Emissionsfaktor zurückführen, der im Lichte dieser Verifikation als zu hoch eingeschätzt werden muss. Dennoch liegt er mit einer wahrscheinlichen Überschätzung der realen N-Fracht im Ablauf und der damit möglichen N_2O-Emissionen im Bereich der Unsicherheiten.

Alternative Datenquellen für die durchschnittliche Eiweißzufuhr pro Person und Tag sind:

- In der Lebensmitteltabelle für die Praxis von 1991 (Senser & Scherz, 1991) wird eine durchschnittliche Eiweißzufuhr von 94 g/ Einwohner und Tag angegeben.

- Im Ernährungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE, 2008)[142] wurde anhand der geschätzten Lebensmittelverzehrdaten für das Jahr 2005 / 2006 u.a. die mittlere tägliche Zufuhr an Proteinen abgeschätzt. Aus diesen Daten konnte ein gemittelter Wert von ca. 79 g Eiweiß/ Person und Tag[143] abgeleitet werden.
- Zur Bestimmung der N_2O-Emissionen des Abwassers wird seit dem NIR 2017 auf die FAOSTAT-Datenbank (FAOSTAT, ab 2015) zurückgegriffen, da es sich hierbei um eine konsistente Zeitreihe handelt. Sie ist international vergleichbar und wird regelmäßig aktualisiert. Es liegen dem Umweltbundesamt keine Hinweise vor, dass die länderspezifischen Werte der Lebensmitteltabelle sowie des Ernährungsberichtes 2008 eine höhere Genauigkeit bzw. nationale Akzeptanz aufweisen. Darüber hinaus wird in vielen Ländern auf die Datenbasis der FAO zurückgegriffen, so dass die Emissionsermittlung in Deutschland international vergleichbar ist. Der angenommene tägliche Eiweißbedarf in Deutschland liegt im europäischen Vergleich im Mittelfeld. Die Daten der FAO berücksichtigen nicht den Eiweißanteil der nicht verzehrt, sondern beim Gebrauch entsorgt wird. Der WWF (2015) geht für Deutschland bei Fleisch, Eiern und Milch von Konsumverlusten von bis zu 16 % aus.

Die von der FAO verwendeten Daten zum Eiweißkonsum werden auf der Basis von Produktionsdaten (Lieferant Statistischen Bundesamt) und Handelsdaten (EUROSTAT) abgeleitet. Hierbei werden fünf verschiedene, entlang der Wertschöpfungskette einander nachgelagerte Einbußen abgedeckt und untersucht, wie Ernte-, Nachernte-, Prozess-, Verteilungs- und Konsumverluste (WWF, 2015).

Die IPCC-Methodik zur Ermittlung der Lachgasemissionen ist, wie beschrieben, nur teilweise anwendbar, da es durch die Nichtberücksichtigung der durch die Denitrifikation eliminierten Stickstofffracht zu einem deutlich überschätzten Ergebnis kommt. Daher wird eine angepasste Methodik angewandt. Die EF der 2006 IPCC Guidelines werden als Default-Wert herangezogen. Daten zu einer Ermittlung eines landesspezifischen EF, wie im Bereich Methan, liegen derzeit nicht vor.

Ein Vergleich des IEF für Lachgasemissionen im Bereich kommunale Abwasserbehandlung mit internationalen IEF (GHG Locator 2020) zeigt eine gute Übereinstimmung mit den meisten anderen Staaten. Dies wird auf die Anwedung der Berechnungsmethode gemäß IPCC-Guidelines zurückgeführt. Erkennbar höhere IEF können am Beispiel Österreich mit der Verwendung einer landesspezifischen Methode in Verbindung gebracht werden.

Die Methodik und resultierende Emissionsfaktoren konnten mit Ländern, die über einen ähnlichen Stand der Abwassertechnik verfügen, verglichen werden. Es wurde jeweils der NIR 2020 betrachtet. Hierbei zeigte sich Folgendes:

- Österreich: Die Berechnung erfolgt analog den IPCC-Guidelines. Allerdings kann anstelle der Verwendung des Proteinverbrauchs auf gemessene Stickstoffwerte zurückgegriffen werden. Für die Berechnung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung wird ein landesspezifischer, auf Messungen beruhender, EF verwendet. Dieser ist mit 43g N_2O/EW*a deutlich höher als der für Deutschland eingesetzte IPCC_Default Wert von 3,2g N_2O/EW*a. Für die Ermittlung der Emissionen aus dem Effluenten wird, wie auch für Deutschland, der Default-Wert (0,005kg N_2O-N/kg N) genutzt.

[142] Der Ernährungsbericht wird im vierjährigen Rhythmus herausgegeben.
[143] Der Wert wurde ermittelt mit der groben Abschätzung, dass es sich jeweils um 50% Männer (90,8 g/Tag) und Frauen (66,7 g/Tag) in Deutschland handelt.

- Schweiz: Die Berechnungen für Emissionen aus der Abwasserbehandlung und dem Effluenten erfolgen gemäß IPCC-Guideline. Zur Berücksichtigung der über den Klärschlamm entfernten N-Fracht kann auf landesspezifische Daten zurückgegriffen werden. Es werden, wie auch für Deutschland, die EF entsprechend der Default-Werte angewandt. Der resultierende EF = 0,039 kg N_2O/EW*a liegt in der gleichen Größenordnung, wie der für Deutschland abgeleitete Wert (0,019 kg N_2O/EW*a).
- Niederlande: Es werden die Default-Werte in Verbindung mit landesspezifischen Aktivitätsraten angewandt. Auf die Einwohnerzahl bezogen ergibt sich ein EF = 0,015 kg N_2O/EW*a. Dieser ist mit dem für Deutschland abgeleiteten EF = 0,019 kgN_2O/EW*a gut vergleichbar.
- Dänemark: Bei der Berechnung kann auf landesspezifische Aktivitätsraten zurückgegriffen werden. Die Berechnung für Emissionen aus den Kläranlagen erfolgt mit einerm landesspezifischen EF = 0,0032 kg N_2O-N/kg N, der aufgrund der Einheit nicht direkt vergleichbar ist. Zur Ermittlung der Emissionen aus dem Effluenten wird der Default-EF (0,005 kg N_2O-N/kg N) angewandt. Die insgesamten Emissionen bezogen auf die Einwohnerzahl ergeben, ohne Industrieabwasser, einen EF = 0,034 kg N_2O/EW*a.

7.5.1.3.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Lachgas kommunal)

Aufgrund aktualisierter Daten für die Proteinversorgung durch die FAO ab dem Jahr 2014 steigen die Emissionen aus dem Effluenten und damit auch die Gesamtemissionen leicht an.

Die Anpassung von $F_{IND\text{-}COM}$ auf 1,3 aufgrund des im Vergleich zum Default-Wert höheren Anteils von gewerblichen bzw. industriellen Abwässern an der Gesamtfracht des in kommunalen Kläranlagen behandelten Abwassers hat leicht höhere direkte, indirekte und folglich Gesamt-Emissionen über den gesamten Zeitstrahl seit 1990 zur Folge.

Die Korrektur der Proteinversorgung zum Proteinverbrauch jedoch hat eine Absenkung der indirekten und folglich der Gesamtemissionen über den gesamten Zeitstrahl zur Folge.

Tabelle 459: Rückrechnung der N_2O-Emissionen

Eiweißzufuhr	Einheit		1990	2000	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Protein-Versorgung	[g/kpf/d]	NIR 2022	96,66	94,46	101,89	103,36	104,08	104,95	104,20	104,20	104,20
Protein-Verbauch	[g/kpf/d]	NIR 2022	77,33	75,57	81,51	83,31	84,11	83,74	83,24	84,32	84,32
pro Einwohner und Jahr	[kg/kpf/a]	NIR 2022	28,225	27,582	29,752	30,409	30,701	30,564	30,383	30,777	30,777
		NIR 2021	35,281	34,478	37,190	37,726	37,989	38,307	38,033	38,033	38,033
N_2O Indirekt (Effluent)	**Einheit**		**1990**	**2000**	**2010**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
NEFFLUENT Real	[kt]	NIR 2022	492,02	183,33	123,37	125,99	130,76	132,77	134,50	138,77	141,21
NEFFLUENT Real	[kt]	NIR 2021	591,37	220,34	148,28	150,30	155,57	160,01	161,89	164,89	167,79
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2022	3,866	1,440	0,969	0,990	1,027	1,043	1,057	1,090	1,110
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2021	4,646	1,731	1,165	1,181	1,222	1,257	1,272	1,296	1,318
N_2O Direkt	**Einheit**		**1990**	**2000**	**2010**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2022	0,018	0,268	0,318	0,323	0,326	0,326	0,325	0,324	0,323
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2021	0,018	0,258	0,306	0,311	0,313	0,313	0,313	0,312	0,311
N_2O Gesamt	**Einheit**		**1990**	**2000**	**2010**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Gesamt N_2O	[kt]	NIR 2022	3,88	1,71	1,29	1,31	1,35	1,37	1,38	1,41	1,43
Gesamt N_2O	[kt]	NIR 2021	4,66	1,99	1,47	1,49	1,54	1,57	1,58	1,61	1,63

7.5.1.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Lachgas kommunal)

In einem nationalen Forschungsvorhaben wurden für Methan- und Lachgasmessungen durchgeführt. Hieraus sollen für den Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung Emissionsfaktoren auf Grundlage dieser Messungen abgeleitet werden. Das Vorhaben ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Grund hierfür sind Verzögerungen bei der fachlichen Bewertung des

Vorhabens bedingt durch die Pandemiesituation und Aufgabenwechsel durch Umstrukturierungen der betroffenen Facheinheit im UBA. Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse durch das UBA kann erst nach Abschluss des Projektes erfolgen.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.5.2 Industrielle Abwasserbehandlung (5.D.2)

7.5.2.1 Methanemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2)

7.5.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 CH_4)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH_4	Tier2/CS	NS	CS
N_2O	Tier 2/CS	NS	CS

Die Emissionen der industriellen Abwasserbehandlung sind keine Hauptkategorie.

Die hier berichteten CH_4-Emissionen beziehen sich gemäß IPCC (2006b) ausschließlich auf den Teil des Abwassers, der in industriellen Abwasserbehandlungsanlagen behandelt wird. Der Teil des industriellen Abwassers, der kommunalen Anlagen zugeleitet wird, wird unter 5.D.1 (Kommunale Abwasserbehandlung) mitberücksichtigt.

Die Grundlagen für die Berechnungen für CH_4 aus der industriellen Abwasserbehandlung werden im zugrunde liegenden Forschungsbericht Austermann-Haun and Witte (2014) ausführlich beschrieben.

Die biologische Stufe der industriellen Abwasserbehandlung wird in Deutschland teils aerob teils anaerob betrieben. Beim anaeroben Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe entsteht Faulgas, welches größtenteils aus CO_2 und CH_4 besteht.

In Deutschland werden heutzutage Industrieabwässer in vielen Branchen, vor allem in der Lebensmittelindustrie, anaerob behandelt. Daten zur Anlagentechnik werden in Deutschland nicht systematisch erhoben. Eine Auswertung von Austermann-Haun and Witte (2014) ergibt allerdings, dass derzeit in Deutschland 184 Anaerobanlagen bei 136 Betrieben in 26 Wirtschaftszweigen von der Gemüseverarbeitung über Zucker- und Papierherstellung bis hin zur Herstellung von Reinigungsmitteln in Betrieb sind. Die größten CSB-Frachten, die anaerob behandelt werden, stammen aus der Papier- und Zellstoffherstellung, der Zuckerherstellung und aus den Brauereien.

Zur anaeroben Industrieabwasserbehandlung kommen vor allen Dingen Schlammbettreaktoren (UASB- und EGSB-Reaktoren) sowie das anaerobe Belebungsverfahren zum Einsatz. Alle Anlagen verfügen vorschriftsgemäß über eine Gasfackel mit automatischer Zündung. Lediglich ein einziger (relativ kleiner) Betrieb der Zuckerherstellung behandelt sein Abwasser in anaeroben Teichen.

Das entstehende Faulgas wird nahezu vollständig gefasst, im Betrieb verfeuert und substituiert somit Stadtgas oder es wird zur Stromerzeugung verwendet. Die energetische Nutzung wird unter CRF 1.A.1 berichtet. Die vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Daten zur Klärgasmenge beinhalten sowohl das in dieser Kategorie entstehende Faulgas, als auch das der kommunalen Anlagen (Telefonat UBA-Fachexperte mit DESTATIS, 23.8.2016).

Für Deutschland existieren daher lediglich die CH_4-Emissionen, die durch ungewollte Verluste entstehen. Diese ungewollten Verluste können sein:

- CH_4, welches im Ablauf der Methanreaktoren in der Flüssigphase enthalten ist (die Löslichkeit von Methan ist temperaturabhängig, siehe Abschnitt „Methodische Aspekte“),
- Verluste in Gasspeichern,
- Verluste über den abgezogenen Schlamm in Pelletspeichern (Speicher für den granulierten Schlamm von Schlammbettreaktoren),
- Gas, welches in einer nicht belüfteten Teichanlage der Zuckerindustrie entsteht,
- Gas, welches in Versäuerungsreaktoren entsteht,
- Verluste aus Leckagen/Störfällen/Fackelverlusten.

Gasfackeln sind ausschließlich als Notfackeln im Einsatz, für den Fall, dass beispielsweise Wartungsarbeiten am BHKW vorgenommen werden müssen. Die Gasfackeln werden so ausgelegt, dass sie im Notfall das gesamte anfallende Gas verbrennen können. Die Gasmenge, die über die Gasfackeln geht, wird nicht erfasst. Die Fackeln werden als Notfackeln verwendet, die verbrannte Gasmenge liegt in diesem Anwendungsbereich nahe Null. Gasfackeln sind mit einer automatischen Zündung ausgerüstet, um in Störfällen sicher das anfallende Gas zu verbrennen. Während der Anfahr- und Abfahrphase von Vergärungsanlagen wird das entstehende Methan auf Grund zu geringer Methankonzentrationen auch über die Gasfackeln verbrannt, bei Kampagnenbetrieben also jeweils zum Kampagnenbeginn und -ende. Methanemissionen aus Hochleistungsfackeln werden in Fachkreisen mit Null bewertet.

Störfälle, die mit Gasverlusten einhergehen, sind nach Expertenschätzung (Austermann-Haun & Witte, 2014) in den letzten Jahrzehnten auf dem Gebiet der anaeroben Industrieabwasserbehandlung zweimal in Form von Undichtigkeiten des Methanreaktors im Gasraum aufgetreten. Wegen der mit Leckagen verbundenen Gerüche, werden Leckagen schnell gesucht, gefunden und beseitigt. Im Jahr 1992 wurde durch Geruchsprobleme auf der Kläranlage ein Leck in der GFK-Abdeckung (GFK; Glasfaserverstärkter Kunststoff; glass-fibre reinforced plastic) des Methanreaktors gefunden. Ein zweiter Fall einer Undichtigkeit trat 2013 im Dach eines Methanreaktors aus Stahl auf. Aufgrund der wenigen Störfälle (2 in 30 Jahren bei Betrieb von nunmehr 184 Methanreaktoren), werden die Methanemissionen aus Störfällen als vernachlässigbar eingestuft.

Andere Störfälle, die z.B. zu einer Hemmung der Methanbakterien führen, führen zu keinen Methanemissionen.

7.5.2.1.2 Methodische Aspekte (5.D.2 CH_4)

Die gewählte Berechnungsmethode entspricht Tier 2.

Für 20 der 26 relevanten Wirtschaftszweige wurde gemäß folgender Formel (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.2.3.3, Gleichung 6.6) die CSB-Jahresfracht des Wirtschaftszweigs errechnet. Hierzu wurde für jeden Wirtschaftszweig die Produktionsmenge des Jahres 2013 sowie der spezifische Abwasseranfall aus der Bundesstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1)) ermittelt und mit dem im Forschungsbericht benannten spezifischen CSB-Gehalt des Rohabwassers verrechnet. Zu beachten ist hierbei, dass die Abwasserstatistik nur alle drei Jahre aktualisiert wird. Aus diesem Grunde werden die Zwischenjahre interpoliert, die Folgejahre werden jeweils bis zur nächsten Aktualisierung konstant fortgeschrieben und im Nachgang rekalkuliert.[144] Von 6 Wirtschaftszweigen (Mahl- und Schälmühlen (WZ 10.61), Herstellung von Fertiggerichten (WZ 10.85), Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien (WZ 20.14), Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen (WZ 20.15), Herstellung von

[144] Auf die berichteten Methanemissionen haben diese Änderungen keinen EInfluss, da diese, wie im Folgenden beschrieben, auf anderem Wege berechnet werden. Die Aktualisierung der Abwasserstatistik wird generell erst nach Redaktionsschluss des NIR durch das Statistische Bundesamt bereitgestellt.

Kunststoffen (WZ 20.16) und Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln (WZ 20.41)) waren in der Literatur keine Daten zum spezifischen Abwasseranfall verfügbar, daher konnte dort nicht die CSB-Jahresfracht errechnet werden.

$$TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot COD_i$$

mit

TOW_i	= gesamte organisch abbaubare Substanz im Abwasser des Wirtschaftszweigs i (CSB-Jahresfracht), kg CSB/a (total organically degradable material in wastewater for industry i, kg COD/yr)
i	= Wirtschaftszweig (industrial sector)
P_i	= gesamte jährliche Produktionsmenge im Wirtschaftszweig i, t/a (total industrial product for industrial sector i, t/yr)
W_i	= spez. Abwasseranfall im Wirtschaftszweig i, m³/t (wastewater generated, $m^3/t_{product}$)
COD_i	= chemischer Sauerstoffbedarf, kg CSB/m³ (chemical oxygen demand (industrial degradable organic component in wastewater), kg COD/m³)

Da es gute Praxis ist, mit länderspezifischen Daten zu rechnen und für Deutschland spezifische Daten vorliegen, wird für die Kalkulation der gesamten Methan-Emissionen vom Berechnungsansatz des IPCC (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.2.3.1, Gleichung 6.4) abgewichen und ein eigener Ansatz erarbeitet. Die gesamten Methan-Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung errechnen sich nach folgender Formel.

$$CH_4\ Emissions = \sum_i \left[\left(TOW_i \cdot \omega_{ANR,i} \cdot \omega_{CSB,i} \cdot EF_{CH4,gelöst,i}\right) + E_{CH4,GS,i} + E_{CH4,PS,i} + E_{CH4,AT,i}\right]$$

mit:

$CH_4\ Emissions$	= CH_4-Emissionen im Inventarjahr in kg CH_4/a
TOW_i	= gesamte organisch abbaubare Substanz im Abwasser des Wirtschaftszweigs i (CSB-Jahresfracht), kg CSB/a
i	= Wirtschaftszweig
$\omega_{ANR,i}$	= prozentualer Anteil der anaeroben Reinigung im Wirtschaftszweig i
$\omega_{CSB,i}$	= CSB-Abbaugrad in der anaeroben Reinigung im Wirtschaftszweig i
$EF_{CH4,gelöst,i}$	= Emissionsfaktor für das im Wasser gelöste CH_4 im Wirtschaftszweig i in kg CH_4/kg $CSB_{eliminiert}$
$E_{CH4,GS,i}$	= CH_4-Emissionen aus den Gasspeichern im Wirtschaftszweig i, in kg CH_4/a
$E_{CH4,PS,i}$	= CH_4-Emissionen aus den Pelletspeichern im Wirtschaftszweig i, in kg CH_4/a
$E_{CH4,AT,i}$	= CH_4-Emissionen aus den Abwasserteichen im Wirtschaftszweig i, in kg CH_4/a

Die spezifischen Emissionsfaktoren $EF_{CH4,gelöst,i}$ des in der Wasserphase gelösten Methans errechnen sich auf Grundlage des Henry-Dalton-Gesetzes und werden im Forschungsbericht benannt. Es wird ein Druck von 1,043 bar zu Grunde gelegt. Die Temperatur ist jeweils branchenspezifisch und liegt zwischen 32°C und 37°C.

Die Emissionen aus den Gasspeichern haben als Grundlage die zulässigen Leckageraten aus Gasspeichern. Auf dieser Basis wurden pro Gasspeicher CH_4-Emissionen von 20 m^3 CH_4/a errechnet.

Die Emissionen aus den Pelletspeichern (Speicher für den anaeroben granulierten Schlamm) wurden gleich 0 kg CH_4/a gesetzt, da die Emissionen aus diesem Bereich als vernachlässigbar angesehen werden (Expertenschätzung). Ebenso werden die CH_4-Emissionen aus Störfällen zu 0 kg CH_4/a angesetzt.

Auf Grund ungünstiger Methanbildungsbedinungen sind die Methanemissionen aus Versäuerungsreaktoren vernachlässigbar und mit 0 kg CH_4/a angesetzt.

Der Emissionsfaktor aus den Abwasserteichen wurde nach Formel 6.5 und Tabelle 6.8 aus (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6) ermittelt, wobei für Bo der IPCC Default Wert angenommen wird und der MCF mit 0,2 bei einer Teichtiefe von maximal 2 Metern angesetzt wird.

Die Zeitreihe ab 1990 wurde anhand der Entwicklung der anaeroben Industrieabwasserreinigung im Bezug auf die Kapazitäten zur Behandlung von CSB-Frachten ermittelt. Die vollständige Zeitreihe von 1990 bis 2013 ist im NIR 2015 veröffentlicht. Bis zur nächsten Aktualisierung der Datengrundlage werden die Daten ab 2014 mit einem Wachstum von 2 Prozent pro Jahr fortgeschrieben - unter der Annahme, dass ein moderater Zubau an Anaerobanlagen erfolgen wird (Expertenschätzung). Eine Übersicht über die Zeitreihe ist in der folgenden Tabelle gegeben. Die dargestellten Prozentwerte geben die Änderungen im Vergleich zum Bezugsjahr 2013 an. In der Tabelle sind zusätzlich die der Berechnung zu Grunde gelegten CSB Jahresfrachten dargestellt. Hieraus ergibt sich ein impliziter Emissionsfaktor von 1,86 kg CH4/t CSB.

Tabelle 460: Zeitreihe der CH_4-Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung

Jahr	Anaerob behandelte CSB-Jahresfrachten [t/a]	CH4-Emission [kg CH_4/a]
1990	198.477	22 %
1995	332.950	37 %
2000	493.357	56 %
2005	744.371	84 %
2010	854.374	96 %
2013	888.757	100 %
2014	906.532	102 %
2015	924.307	104 %
2016	942.083	106 %
2017	959.857	108 %
2018	977.632	110 %
2019	995.407	112 %
2020	1.013.183	114 %

Der TOW der einzelnen betrachteten Unterbranchen ist in Austermann-Haun and Witte (2014)/ Tabelle 9 dokumentiert. Für die Chemische Industrie, die Nahrungsmittelindustrie, sowie die Papier- und Zellstoffindustrie wurde auf Basis eines mittleren CSB-Gehaltes und der absoluten Abwassermenge zusätzlich der Gesamt-TOW ermittelt (Tabelle 462). Allerdings wird dieser Gesamt-TOW nach der Formel $TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot COD_i$ für die Berechnung der CH_4-Emissionen nicht genutzt, weil diese wie oben beschrieben nach einer länderspezifischen Methode auf Basis der subbranchenspezifischen TWO_i berechnet wurden. Im länderspezifischen Ansatz wurde gemäß des oben angegebenen Formelterms $TOW_i \cdot \omega_{ANR,i} \cdot \omega_{CSB,i} \cdot EF_{CH4,gelöst,i}$ jeweils der Anteil des in den einzelnen Branchen bzw. Unterbranchen anaerob behandelten Abwassers $\omega_{ANR,i}$ berücksichtigt und der branchenspezifische erzielbare Abbaugrad $\omega_{CSB,i}$ sowie der temperatur- und branchenabhängige Anteil des gelösten Methans $EF_{CH4,gelöst,i}$ auf den branchenspezifischen TWO_i angewendet. Die branchenspezifischen Parameter sind in der folgenden Tabelle 461 aufgeführt (siehe auch Tabelle 12 in Austermann-Haun and Witte (2014)).

In den verschiedenen Unterbranchen werden unterschiedliche Anteile des Abwassers (vgl. $\omega_{ANR,i}$ in Tabelle 461) und damit des gesamt TOW in anaeroben Anlagen behandelt. Nur diese behandelte TOW-Menge kann zu Methan-Emissionen führen. Bei der Ableitung des IEF ist allerdings die gesamte TOW-Menge der Quellgruppe und nicht nur die anaerob behandelte TOW Menge die Bezugsgröße. Dies führt im Vergleich zu sehr geringen IEF.

Tabelle 461: Verwendete Parameter zur Bestimmung der Emissionen des gelösten Methans aus der anaeroben Behandlung von Industriellem Abwasser (Bezugsjahr 2013)

WZ Code	TOWi [t CSB/a] (gerundet)	$\omega_{ANR,i}$ [%]	$\omega_{CSB,i}$ [$EF_{CH4,gelöst,i}$]	[kg CH_4/kg CSB_{eli}]%]
10.20 Fischverarbeitung	12.000	9,0	77,5	0,00455
10.31 Kartoffelverarbeitung	47.000	35,6	85	0,00244
10.32 Herstellung von Frucht- u. Gemüsesäften	12.000	96,3	80	0,00838
10.39 Sonstige Verarbeitung von Obst u. Gemüse	80.000	8,7	85	0,00097
10.51 Milchverarbeitung	109.000	7,3	77,5	0,00615
10.52 Herstellung von Speiseeis	17.000	8,2	80	0,00196
10.61 Mahl- und Schälmühlen	NN	NN	80	NN
10.62 Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen:				
- Kartoffelstärke	1.000	94,0	75	0,00087
- Weizenstärke	18.000	36,0	75	0,00087
10.71 Herstellung von Backwaren	268.000	0,2	80	0,00093
10.81 Herstellung von Zucker	64.000	95,1	95	0,00085
10.82 Herstellung von Süßwaren	43.000	10,1	95	0,00165
10.83 Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz	49.000	2,1	75	0,00067
10.84 Herstellung von Würzmitteln u. Soßen	12.000	0,2	80	0,00395
10.85 Herstellung von Fertiggerichten	NN	NN	80	NN
10.89 Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln				
- Backhefen	2.000	86,2	90	0,00223
- Andere Hefen	7.000	32,1	90	0,00223
10.9 Herstellung von Futtermitteln	24.000	3,5	70	0,00258
11.02 Herstellung von Traubenwein	18.000	1,0	90	0,00177
11.05 Herstellung von Bier	88.000	28,0	85	0,00748
11.06 Herstellung von Malz	4.000	1,1	80	0,01236
11.07 Herstellung von Erfrischungsgetränken; Gewinnung natürlicher Mineralwässer	21.000	5,2	80	0,00656
17.1 Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe	759.000	39,1	70	0,00578
20.14 Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien	NN	NN	80	NN
20.15 Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen	NN	NN	80	NN
20.16 Herstellung von Kunststoffen	NN	NN	72	NN

WZ Code	TOWi [t CSB/a] (gerundet)	$\omega_{ANR,i}$ [%]	$\omega_{CSB,i}$ [$EF_{CH4,gelöst,i}$]	[kg CH_4/kg CSB_{eli}]%]
20.41 Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln	NN	NN	80	NN
Summe (gerundet)	**1.653.000**			

Für weitere Branchen konnten keine durchschnittlichen CSB-Mengen ermittelt werden. In den 2006 IPCC Guidelines werden zusätzlich zu bisher berücksichtigten Branchen auch Default Werte für „Organic Chemicals", „Plastic & Resins" sowie „Soap & Detergents" benannt. In der deutschen Statistik werden diese Quellen anders zusammengefasst: Unter der Überschrift „Chemische Erzeugnisse" werden in der Abwasserstatistik Erzeugnisse mit dem WZ 2008 Code 20 zusammengefasst. Hierunter fallen auch die organische Chemie (WZ 2008 Code 20.14), Kunststoffe und Harze (Code 20.1) sowie Seife und Reinigungsmittel (Code 20.4). Im Unterschied zu Code 20.4 in welchem Vorprodukte berichtet werden, werden unter Code 22 Kunststoff- und Gummiwaren (Endprodukte) gelistet. Der in IPPC 2006 berichtete Default Wert (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6) bezieht sich auf die Vorprodukte. Somit enthält die bisherige Berichterstattung bereits die geforderten zusätzlichen Produktkategorien. (IPCC, 2006b) merkt an, dass die Default-Werte mit Vorsicht zu nutzen sind, da sie industrie-, prozess- und landesspezifisch sind.

Tabelle 462: Berechnung des TOW für das Jahr 2020, Direkteinleiter

Industriebereich	Mittlerer CSB [kg/m³]	Abwassermenge (2020) [m³]	TOW (2020 [t CSB/Jahr]
Chemische Industrie	3 [1)]	265.964.683	770.894
Nahrungsmittelindustrie	3 [2)]	63.109.135	179.407
Papier- und Zellstoffindustrie	2 [2)]	199.996.920	399.994
			1.350.295

1) 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6, Table 6.9

2) Expertenschätzung UBA

7.5.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 CH_4)

Die Unsicherheit der gesamten Methanemissionen wird u.a. aufgrund fehlender Daten für einige Wirtschaftszweige, unterschiedlichen Betriebsdrücken der Methanreaktoren, unterschiedlichen Membranen bei den Gasspeichern und der nicht bekannten Zahl von Gasspeichern mit ± 50 % als Expertenschätzung bewertet.

7.5.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 CH_4)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die zu Grunde liegenden Forschungsberichte wurden im Rahmen der Abnahme durch die Fachbegleiter des UBA geprüft und qualitätsgesichert.

Ein Vergleich der Ergebnisse nach der gewählten landesspezifischen Methode mit Ergebnissen nach der Methode beschrieben in IPCC (2006b) ist nicht sinnvoll möglich, da auf Grund der technischen Realität (siehe „Beschreibung der Quellgruppe") und der vorliegenden Datensituation nur der gewählte Ansatz durchführbar ist. Ein Abgleich der Ergebnisse mit Daten aus dem ETS ist nicht möglich, da die beschriebenen Anlagen nicht dem Emissionshandel unterliegen.

Zusätzlich wurde versucht Vergleichsdaten aus den Inventarberichten anderer Länder zur Plausibilisierung heranzuziehen. Hierzu wurden für den Inventarbericht 2021 aus den

Inventarberichten 2020, verschiedene Länder mit ähnlichen klimatischen, sowie strukturell/technischen Rahmenbedingungen wie in Deutschland ausgewählt.:

- In Österreich wurde die Methodik im NIR 2020 geändert. Die Methan-Emissionen aus der industriellen Abwasserreinigung werden nun mit 1 % der in Anaerobanlagen erzeugten CH4 Menge angenommen.
- In den Niederlanden werden die Methan-Emissionen auf Basis der IPCC-Default-Werte in Verbindung mit landesspezifischen Daten zum TOW und weiteren spezifischen Anpassungen berichtet. Es liegen keine aktuellen Informationen zur in industriellen Abwasseranlagen behandelten CSB Menge vor. Somit ist auch hier die Datenverfügbarkeit der limitierende Faktor. Ein direkter Datenvergleich ist nicht möglich. Es wurden keine methodischen Änderungen im Vergleich zu den Vorjahren vorgenommen.
- In Dänemark wird nicht zwischen industriellen und kommunalen Anlagen unterschieden. Die Methode folgt dem IPCC Handbuch.

Beim Vergleich der IEF für Methan mit den Berichten anderer Länder (GHG-Locator) fällt auf, dass der hier beschriebene IEF teilweise deutlich geringer ausfällt als in anderen Ländern. Dies ist darauf zurück zu führen, dass eine landesspezifische Methode zur Ermittlung der Methan-Emissionen verwendet wird und wie oben beschrieben nur der in anaerob-Anlagen behandelte TOW zu Methan-Emissionen führen kann.

Eine weitergehende Verifizierung ist nicht möglich, da keine weiteren spezifischen Daten dieser Quellgruppe für Deutschland verfügbar sind.

7.5.2.1.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 CH_4)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

7.5.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 CH_4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.5.2.2 Lachgasemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2 N_2O)

7.5.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 N_2O)

Lachgasemissionen können als Nebenprodukt bei der biologischen Abwasserreinigung mit gezielter Stickstoffelimination, hauptsächlich bei der Denitrifikation, aber vermutlich auch bei der Nitrifikation, entstehen. (vgl. IPCC (2006b), Vol. 5, Kapitel 6.1, Seite 6.8) Es wird vermutet, dass der Reduktionsschritt von N_2O zu N_2 durch verschiedene Einflussfaktoren, wie z.B. freiem Sauerstoff, hohen Nitrit-, Ammonium- und/oder Sulfidgehalten, gehemmt wird und dadurch N_2O entsteht (Austermann-Haun and Carozzi (2011): Seite 2-12 ff).

Der überwiegende Teil des industriellen Abwassers wird in kommunalen Kläranlagen gereinigt und entsprechend in 5.D.1 berücksichtigt. Unter 5.D.2 werden aus diesem Grunde nur die industriellen Direkteinleiter betrachtet.

7.5.2.2.2 Methodische Aspekte (5.D.2 N_2O industriell)

Seitens der 2006 IPCC Guidelines gibt es keine Vorschrift und auch keine Pflicht zur Berechnung der N_2O-Emissionen des industriellen Bereichs (IPCC (2006b): Vol. 5, Kapitel 6.3.4). Es existiert kein decision tree und auch keine höheren Tier-Berechnungsmethoden. Die Einordnung der im

Folgenden vorgestellten Berechnungsmethodik erfolgt daher in Anlehnung an den decision tree und die Tier Klassifizierung für CH_4 (industriell). Der hier verwendete Ansatz entspricht demgemäß einer Tier 2 Berechnungsmethode.

Für den Inventarbericht wurden die statistischen Eingangsdaten für 2020 eingepflegt. Wegen der außerordentlich geringen Relevanz der Kategorie, aus Ressourcengründen und aufgrund der Vielzahl der verwendeten Datenquellen, können die statistischen Eingangsdaten allgemein nur in unregelmäßigen Abständen aktualisiert werden. In allen anderen Jahren erfolgen daher Fortschreibungen auf Basis des letzten aktualisierten Jahres.

Zur Ermittlung der Lachgasemissionen aus der industriellen Abwasserbehandlung wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Daten zum produktspezifischen Abwasseranfall, zur Stickstoffkonzentration und zum CSB-Gehalt (Chemischer Sauerstoffbedarf) aller Industriebereiche zusammengetragen und anhand der Jahresproduktionszahlen jährliche Stickstofffrachten errechnet. Die zu Grunde liegenden Stickstofffrachten entstammen aus Merkblättern der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) und stellen den anerkannten Stand der Wissenschaft dar. Die verwendeten statistischen Daten werden von DESTATIS jährlich veröffentlicht und sind in der UBA-internen Berechnungsgrundlage dokumentiert. Bis auf wenige Ausnahmen werden die Aktivitätsdaten direkt durch das Statistische Bundesamt per Datenlieferung zur Verfügung gestellt. Ergänzend werden Abfragen über das Internetportal Genesis-Online des Statistischen Bundesamtes gestellt. Zudem werden Statistiken zur Brauwirtschaft herangezogen und Informationen zur Milchverarbeitung und Zuckererzeugung bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung abgerufen. Daten zur Verarbeitung tierischer Nebenprodukte werden bei der Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH abgerufen.
Die genaue Vorgehensweise zur Berechnung der Lachgasemissionen ist in Austermann-Haun and Carozzi (2011) dokumentiert. Ein CSB:N-Verhältnis < 40 war das Entscheidungskriterium dafür, einen Stickstoffüberschuss im Abwasser der Branche anzunehmen, der in der anschließenden biologischen Abwasserbehandlung Lachgasemissionen verursachen kann. Erst wenn so viel Stickstoff im Abwasser vorliegt, dass nach Einbau in die Biomasse noch ein Rest vorhanden ist, der durch die biologische Stickstoffelimination entfernt werden muss, kann davon ausgegangen werden, dass möglicherweise Lachgas bei der biologischen Abwasserreinigung emittiert wird. Ähnliche Werte werden im ATV-DVKK-Arbeitsblatt A 131 für die Auslegung der Denitrifikation angegeben. Dabei wird die Stickstofffracht vereinfacht mit 2 bis 2,5 % der CSB-Konzentration berücksichtigt (2,5 % entspricht einem CSB:N-Verhältnis von 40:1). Durch die Zusammenstellung der Daten konnten die 6 relevantesten Industriebereiche identifiziert werden, die gemeinsam ca. 75 % der Stickstofffracht aus der industriellen Abwasserbehandlung liefern (Austermann-Haun & Carozzi, 2011). Diese sind:

- Schlachten und Fleischverarbeitung,
- Milchverarbeitung,
- Verarbeitung tierischer Nebenprodukte,
- Herstellung von Bier,
- Zuckerherstellung,
- Weizenstärkeherstellung.

Auf die Aufnahme der Textilindustrie (7,5 % an Gesamtstickstofffracht) und Kartoffelverarbeitung (2,6 % Anteil an der Gesamtstickstofffracht) wurde verzichtet, da das Abwasser ein CSB:N Verhältnis größer als 40 aufweist und somit eine Lachgasbildung gemäß den Ergebnissen des Forschungsberichtes nicht erfolgt. Die Herstellung von Kartoffelstärke wird als nicht Lachgas-relevant angesehen – der Anteil an der Gesamtstickstofffracht im Abwasser liegt bei unter 0,4 %. Die verbleibenden rund 15 % der Gesamtstickstofffracht verteilen sich auf

viele Einzelbranchen mit unklarer Datensituation (insbesondere CSB:N-Verhältnis). Ein großer Teil dieser Branchen leitet als Indirekteinleiter die Stickstofffracht in kommunale Kläranlagen ein und wird bereits über die Emissionsberichterstattung unter 5.D.1 berücksichtigt.

Auf Basis der mittleren produktspezifischen Stickstofffracht der 6 genannten Industriebereiche und anhand der jährlichen Produktionszahlen wird die Jahresstickstofffracht ermittelt, die ins Rohwasser emittiert wird. Dabei wird angenommen, dass auf Grund von organisatorischen und technischen Maßnahmen eine schrittweise Reduktion auf den Stand von 2010 erfolgte und die ins Abwasser abgegebene Stickstoffmenge im Jahr 1990 um 30 % höher lag (Expertenschätzung). Dabei wird für die Jahre von 1990 bis 2000 eine jährliche Reduktion der Stickstofffracht um 2 Prozentpunkte angenommen, von 2000 bis 2010 um einen Prozentpunkt (Expertenschätzung). Ab 2010 wird die Stickstofffracht pro Kubikmeter Abwasser als konstant angenommen (Expertenschätzung).

Die Berechnung der Aktivitätsrate AD erfolgte folgendermaßen:

$$AD = \sum_B [NF_B \times PZ_B \times 10^{-6}]$$

Wobei:

AD	= Gesamt-Aktivitätsrate [t N_Z/a] = mittlere N-Fracht im Zulauf = N_Z
NF_B	= mittlere spez. N-Fracht der Branche [g N pro Einheit]
PZ_B	= Produktionszahlen für das Jahr 2010 der Branche [Anzahl Einheiten/a]
10^{-6}	= Faktor zur Umrechnung von g in t

Zur Ermittlung des N_2O-Emissionsfaktors wurden im oben genannten Forschungsprojekt verschiedene Daten aus der Literatur ausgewertet. Aus den dort angegebenen Daten wurde ein gewichteter Mittelwert gebildet. Das Ergebnis war, dass 1 % der Stickstofffracht in einer Kläranlage als N_2O-N emittiert wird (siehe auch Kapitel 7.5.2.2.4).

N_2O = EF x AD x 44/28

Wobei:

N_2O	= N_2O Emissionen in t N_2O/a
EF	= Emissionsfaktor 0,01 t N_2O-N/t N
44/28	= Stöchiometrischer Umrechnungsfaktor N_2O-N in N_2O

Zusätzlich wurde für die einzelnen Branchen der Anteil der Direkteinleiter ermittelt und in der Berechnung berücksichtigt.

Aus der oben genannten Formel ergibt sich der IEF:

IEF[N_2O-N]: EF x 44/28 = 0,01 x 44/28 kg N_2O/kg N = 0,0157 kg N_2O/kg N

Die Lachgasbildungsrate in den betrachteten Branchen unterscheidet sich signifikant von der Bildungsrate in kommunalen Kläranlagen, sie liegt in den industriellen Kläranlagen um den Faktor 100 über dem von kommunalen Kläranlagen. Dies ist auf das oben bereits beschriebene CSB:N Verhältnis und die daraus resultierenden besseren N_2O Bildungsbedingungen zurück zu führen.

7.5.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 N_2O)

Die Unsicherheiten der Produktionszahlen entstammen der Bundesstatistik bzw. anderen Statistiken, denen eine Vollerhebung zugrunde liegt. Die Daten sind somit voraussichtlich mit sehr geringen Unsicherheiten behaftet. Die Produktionsstatistiken werden jährlich aktualisiert, die Abwasserstatistiken alle drei Jahre. Die Abwasserstatistik mit Daten für das aktuelle Berichtsjahr erscheint erst nach Redaktionsschluss des NIR.

Der N_2O-Emissionsfaktor wurde durch Expertenschätzung im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes mit einer sehr hohen Unsicherheit von - 99,9 %/+ 300 % bewertet.

Die mittleren spezifischen Stickstofffrachten der verschiedenen Branchen besitzen nachfolgende Unsicherheiten (Tabelle 463), die durch Expertenschätzung ermittelt wurden. Als Unsicherheit für die Gesamtstickstofffracht (Aktivitätsrate) werden unter konservativen Gesichtspunkten -50 %/+50 % angenommen (Expertenschätzung).

Tabelle 463: Unsicherheiten der mittleren spezifischen Stickstofffracht der 4 relevantesten Industriebereiche

Mittlere spez. N-Fracht des Industriebereichs	Unsicherheit obere Schranke	Unsicherheit untere Schranke
Schlachtung von Schweinen	40	40
Schlachtung von Schafen	50	50
Schlachtung von Ziegen	50	50
Schlachtung von Rindern	40	40
Schlachtung von Pferden	50	50
Schlachtung von Geflügel	40	40
Fleischverarbeitung	40	40
Verarbeitung tierischer Nebenprodukte	20	20
Milchverarbeitung	15	15
Herstellung von Bier	30	30
Herstellung von Zucker	30	30
Herstellung von Weizenstärke	30	30

7.5.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 N_2O)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die zu Grunde liegenden Forschungsberichte wurden im Rahmen der Abnahme durch die Fachbegleiter des UBA geprüft und qualitätsgesichert.

Die Aktivitätsdaten stammen im Wesentlichen aus der nationalen Statistik und wurden auf auffällige Änderungen im Vergleich zum Vorjahr überprüft. Größere Abweichungen sind durch klimatische Effekte (Auswirkungen auf die Ernte) und strukturelle Änderungen erklärbar. Im Jahr 2020 sind coronabedingte Verschiebungen im Konsum und in der Produktion zu verzeichnen, die sich aber letztlich nicht auf die Gesamt-Stickstoffracht auszuwirken scheinen – die Schwankungen im Vergleich zu den Vorjahren liegen für 2019 und auch 2020 bei rund 1 %.

Beim Vergleich des im Zuge nationaler Berechnungen ermittelten N_2O-IEF (siehe Kapitel 7.5.2.2.2) mit denen der anderen berichtenden Staaten (GHG Locator) fällt auf, dass er klar innerhalb der Bandbreite fast aller berichtenden Staaten liegt.

Ein Abgleich der Ergebnisse mit Daten aus dem ETS ist nicht möglich, da die beschriebenen Anlagen nicht dem Emissionshandel unterliegen. Die beschriebenen Aktivitätsdaten entstammen der öffentlichen Statistik des Statistischen Bundesamtes bzw. im Falle der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte dem Bericht der „Servicegesellschaft tierische Nebenprodukte“. Weitere Aktivitätsdaten zur Plausibilisierung liegen nicht vor.

Zusätzlich wurde versucht Vergleichsdaten aus den Inventarberichten anderer Länder zur Plausibilisierung heranzuziehen. Hierzu wurden, für den Inventarbericht 2021, aus den Inventarberichten 2020, Länder mit ähnlichen klimatischen, sowie strukturell/technischen Rahmenbedingungen wie in Deutschland ausgewählt:

- In Österreich werden N2O-Emissionen der industriellen Abwasserreinigung erstmalig auf Basis einer landesspezirischen Methode ermittelt. Ein detaillierter Vergleich ist nicht möglich, da die Methode in einem unveröffentlichten Bericht aus dem Jahr 2019 beschrieben wird.
- In den Niederlanden wurden die N_2O-Emissionen aus der industriellen Abwasserreinigung hingegen als irrelevant im Vergleich zu den N_2O-Emissionen aus der kommunalen Abwasserreinigung eingestuft und daher nicht berichtet, somit war ein Vergleich nicht möglich.
- In Dänemark wird die industrielle Abwasserreinigung mit einer landesspezifischen Methode betrachtet. Die Methode ähnelt der in Deutschland angewendeten Vorgehensweise. Es wurde ein Emissionsfaktor EF_{N20} direkt von 0.0032 verwendet.

In Austermann-Haun and Carozzi (2011) wurde eine Literaturstudie zu Lachgasemissionen aus der Abwasserreinigung durchgeführt. Die hier verwendeten Emissionsfaktoren wurden aus dieser Literaturstudie abgeleitet.

Eine weitergehende Verifizierung ist nicht möglich, da keine weiteren spezifischen Daten dieser Quellgruppe für Deutschland verfügbar sind.

Der verwendete Ansatz unterscheidet sich vom IPCC Default in IPCC (2006b), Vol. 5, Kapitel 6.3.1.2, Seite 6.25. IPPC gibt dort eine Wertespanne von 0.0005 – 0.25 kg N_2O-N/kg –N (Default 0,005 kg N_2O-N/kg –N) an. Im Ergebnis des weiter oben beschriebenen Forschungsprojekts wurde ein länderspezifischer Emissionsfaktor von 0,01 kg N_2O-N/kg –N ermittelt und für die Emissionsberichterstattung verwendet. Der verwendete Emissionsfaktor liegt somit um Faktor zwei höher als der Default-Wert, aber immer noch in der angegebenen Bandbreite.

7.5.2.2.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 N_2O)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

7.5.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 N_2O)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

7.6 Andere Bereiche (5.E)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2020 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2020
-/-	5 E, Other		CH_4	0,0	0,0%	2,4	0,0%	-
-/-	5 E, Other		N_2O	0,0	0,0%	33,6	0,0%	-

Die Kategorie 5.E - Weitere ist keine Hauptkategorie.

In der Kategorie 5.E Other werden derzeit ausschließlich die Emissionen aus der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung berichtet.

Weiterhin sind dieser Kategorie die Emissionen aus unbeabsichtigten Bränden von Gebäuden und Fahrzeugen zugeordnet, was aber derzeit für die Treibhausgase keine Relevanz hat, da die Emissionen aus unbeabsichtigten Bränden von Gebäuden und Fahrzeugen weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) betragen. Zudem unterschreiten sie eine Menge von 500 kt CO_2-Äquivalente deutlich, und zusätzlich kann eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden (UNFCCC, 2013a). Die sich theoretisch ergebende Zeitreihe liegt unterhalb 100 kt CO_2-

Äquivalente pro Jahr unter der Annahme, dass weniger als 20 Prozent des verbrannten Materials fossilen Ursprungs sind (Expertenschätzung ohne geeignete Aktivitätsdaten). Eine methodische Beschreibung zur Berechnung von Staubemissionen und weiterer Schadstoffe ist im Inventarbericht für die Genfer Luftreinhaltekonvention[145] hinterlegt.

7.6.1 Andere Bereiche - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) (5.E Other MBA)

7.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.E Other MBA)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
C_H4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS

In Deutschland wird unterschieden in die biologische Behandlung von getrennt gesammelten Bioabfällen (siehe 7.3) und die von Restabfällen. Die Behandlung von Bioabfällen dient der Erzeugung eines Kompostes (siehe 7.3.1) oder Gärrestes (siehe 7.3.2) zur Anwendung als Dünger. Die biologische Behandlung von Restabfall mit der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung dient der Vorbehandlung der organischen Abfälle vor der Deponierung oder der energetischen Verwertung. Für die Behandlung von Restabfällen bestehen höhere Anforderungen an den Emissionsschutz als für die Bioabfallbehandlung. Daher liegen die Emissionsfaktoren für die MBA deutlich unter denen der Kompostierung oder Vergärung für Bioabfälle. Die jeweiligen Abfallströme werden in der Bundesstatistik gesondert erfasst.

Seit den 90er Jahren werden in Deutschland mechanisch-biologische Verfahren im größeren Umfang zur Restabfallbehandlung eingesetzt. Anfangs dominierten technisch einfache Anlagenkonzepte ohne Abgasfassung und -behandlung. Im Zuge verfahrenstechnischer Weiterentwicklungen setzten sich jedoch verstärkt geschlossene Anlagen mit Biofilter als Abgasreinigung durch. Diese Abgasreinigungsverfahren konnten die Geruchsemissionen der Anlagen deutlich reduzieren, führten aber zu keiner Minderung der Treibhausgasemissionen.

Seit dem 1. Juni 2005 ist die Ablagerung von organischen und biologisch abbaubaren Abfällen in der Bundesrepublik nicht mehr zulässig. Restsiedlungsabfälle und ähnlich zusammengesetzte Abfälle können daher nur nach einer Vorbehandlung abgelagert werden. Neben den thermischen Abfallbehandlungsverfahren (Müllverbrennung) kommen hierbei auch verstärkt mechanisch-biologische Verfahren zum Einsatz, deren Kapazitäten mit der Beendigung der Ablagerung unbehandelter Abfälle im Jahr 2005 deutlich ausgebaut wurden. Nach den Anforderungen der 30. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (30. BImSchV, 2017) müssen MBA-Neuanlagen seit dem 1. März 2001 strenge technische Anforderungen erfüllen und anspruchsvolle Grenzwerte einhalten. Die Übergangsregelungen für Altanlagen forderten eine Nachrüstung bis spätestens zum 1. März 2006. Die Emissionswerte der 30. BImSchV können nach dem aktuellen Stand der Technik nur mit thermischen Abgasbehandlungsverfahren (z.B. regenerativ thermische Oxidation – RTO) sicher eingehalten werden.

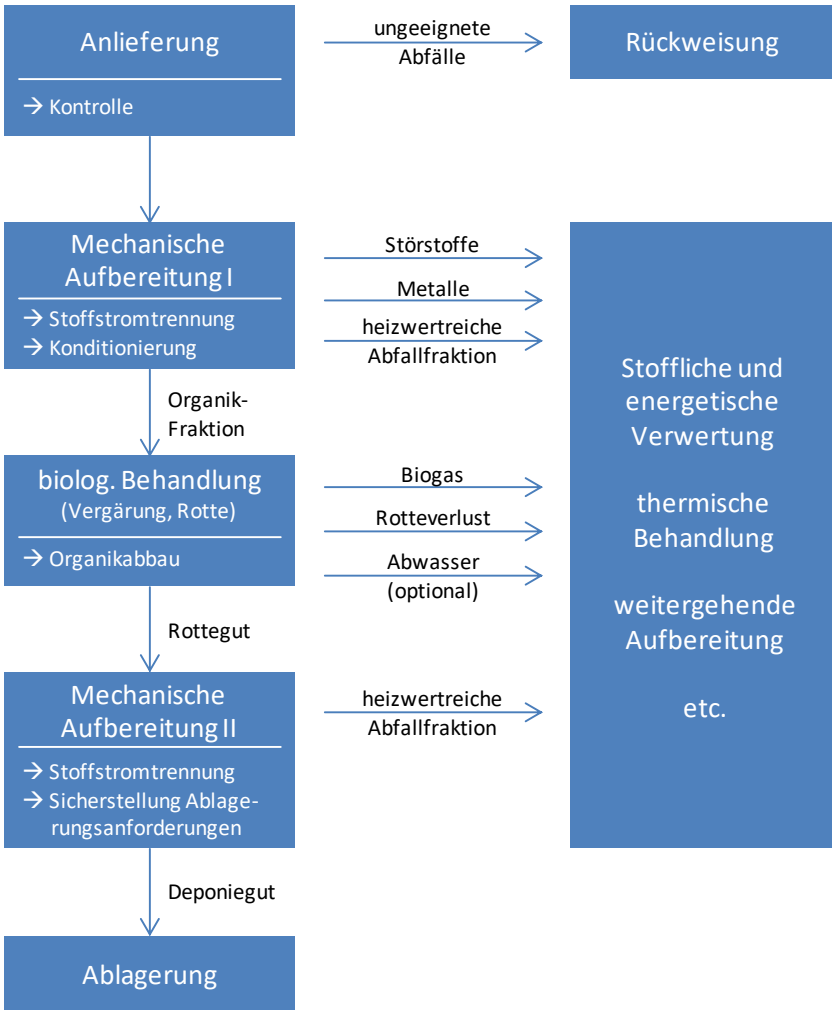
Für die MBA begrenzt die 30. BImSchV die Emissionsfrachten von organischem Gesamtkohlenstoff auf 55 g pro Tonne behandelter Abfälle und für N_2O auf 100 g pro Tonne behandelter Abfälle. Mehrere Überprüfungen haben ergeben, dass die Emissionsbegrenzungen von allen deutschen Anlagen sicher eingehalten werden, bei vielen Anlagen sogar deutlich unterschritten werden (vgl. Tabelle 464). Die Emissionsbegrenzungen und die Emissionsfaktoren beziehen sich auf die Feuchtsubstanz, die Abfallmengen werden bei der Anlieferung an die Anlagen demgemäß erfasst.

[145] Informative Inventory Report (IIR): www.iir.umweltbundesamt.de

Nahezu alle Neuanlagen wurden im Laufe des Jahres 2005 in Betrieb genommen. Aufgrund von Erweiterungen und technischen Anpassungen der Aufbereitungstechnik wurden auch nahezu alle Altanlagen bereits im Jahr 2005 an die Anforderungen der 30. BImSchV angepasst. Da in der Umbruchsituation im Jahr 2005 eine Zuordnung der Abfallmengen zu den unterschiedlichen Anlagentechniken nicht möglich ist, ist auch eine differenzierte Zuordnung der Emissionen nicht möglich. Aus diesem Grund erfolgt die Emissionsberechnung bis einschließlich 2005 vollständig mit den höheren Emissionsfaktoren der alten Anlagentechnik. Die Berechnung der Emissionen ab dem Jahr 2006 erfolgt mit den niedrigeren Emissionsfaktoren der neuen bzw. modernisierten Anlagen.

In Deutschland werden derzeit rund 3,75 Mio. t Abfälle in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen entsorgt. Bei der Behandlung fallen rund 3,25 Mio. t Rückstände an, wobei 0,69 Mio. t als Abfälle zur Beseitigung (hoher Anteil Ablagerung auf Deponien), 2,45 Mio. t als Abfälle (weitgehend Ersatzbrennstoffe) zur Verwertung und 0,1 Mio. als sonstige Rückstände (z.B. Sekundärrohstoffe und Produkte) deklariert werden (alle Daten: Statistisches Bundesamt; GENESIS-ONLINE; Tabelle 32111-0003). Die restlichen 0,49 Mio. t sind Masseverluste im Behandlungsprozess durch biologischen Abbau organischer Bestandteile und Verdunstung oder Auschleusung (Abwasser) des Wassergehalts des Abfalls.

Abbildung 87: Stoffstromschema Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung[146]



[146] Quelle: VDI 3475 Blatt 3, Emisssionsminderung - Anlagen zur mechanisch-biologischen Behandlung von Siedlungsabfällen, 2006-12 (verändert)

7.6.1.2 Methodische Aspekte (5.E Other: MBA)

Die Berechnungsmethodik entspricht der Standardberechnungsmethode: AR x EF = Emission

Aktivitätsdaten (AR)

MBA werden in Deutschland erst ab 1995 betrieben. Für die Berichterstattung werden die aktuellen Daten des Statistischen Bundesamtes genutzt (Statistisches Bundesamt, 2018). Diese werden seit 1995 regelmäßig vom Statistischen Bundesamt erhoben. Bis einschließlich 2019 wurden diese Daten vom statistischen Bundesamt als Fachserie 19, Reihe 1 (Statistisches Bundesamt, 2018) veröffentlicht, seit 2020 ist die Veröffentlichung eingestellt und die Aktivitätsdaten werden vom Statistischen Bundesamt über GENESIS-ONLINE ((Statistisches Bundesamt, o.J.-b), Tabelle 32111-0003) bereitgestellt.

Emissionsfaktoren (EF)

In den 90er Jahren wurden die Emissionen der mechanisch-biologischen Behandlung mit Förderung des BMBF in einem umfangreichen Verbundforschungsvorhaben untersucht. In einem Vorhaben im Jahre 2003 wurden vom Institut für Energie und Umwelt (IFEU 2003) die Emissionsfaktoren des Verbundvorhabens weiterentwickelt. Dabei wurde zwischen offenen (keine Abgasfassung und –behandlung) und geschlossenen (Abgasfassung mit Behandlung im Biofilter) MBA-Verfahren differenziert. Bei Methan wurden die Emissionsfaktoren für beide Varianten in gleicher Höhe angesetzt, da dieser Stoff im Biofilter praktisch nicht abgebaut wird. Der Emissionsfaktor für N_2O wurde bei geschlossenen Anlagen höher als offenen Anlagen angesetzt, da auch im Biofilter N_2O durch die Oxidation von Ammoniumstickstoff gebildet wird.

Für die Offene MBA ergaben sich folgende Emissionsfaktoren:

EF-N_2O = 190 g N_2O/t Abfall
EF-CH_4 = 150 g CH_4/t Abfall

Für die geschlossenen MBA mit Biofilter ermittelt die gleiche Studie für den Zeitraum vor 2005 die folgenden Emissionsfaktoren:

EF-N_2O = 375 g N_2O/t Abfall
EF-CH_4 = 150 g CH_4/t Abfall

Seit Juni 2005 werden aufgrund neuer rechtlicher Anforderungen (30. BImSchV) nur noch geschlossene MBA betrieben, die mit effektiveren Abgasreinigungsverfahren ausgestattet sind, was naturgemäß zu niedrigeren Emissionsfaktoren führt. Die 30. BImSchV fordert für organische Stoffe sowie N_2O eine kontinuierliche Emissionsmessung und begrenzt die zulässigen Emissionsfrachten. Die Emissionsfrachten werden hierbei aus dem Monatsmittel der als Habstundenmittelwerte gemessenen Konzentrationen und der im entsprechenden Monatszeitraum behandelten Abfallmenge ermittelt.

Zur Abschätzung dieser neuen Situation, wurden die im Rahmen der Datenerhebung für die Überarbeitung des Best Available Techniques Reference Document „ Waste Treatment“ im Jahre 2013 vom Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft stoffstromspezifische Abfallbehandlung – ASA (Verband der MBA Betreiber) ermittelten Emissionsdaten für die MBA herangezogen. Die Emissionsdaten für Methan und N_2O lagen hierbei deutlich unter den zulässigen Grenzwerten (Tabelle 464).

Tabelle 464: Emissionen der MBA

Emissionsparameter (Abgas)	Rahmenbedingungen (Normalbedingungen)	Emissionsbandbreiten 16 Anlagen		Emissionsfaktor (Mittelwert)	Grenzwerte 30. BImSchV
Gesamtkohlenstoff ($C_{ges.}$)	Monatsmittelwerte Fracht in **g C_{ges}/t** Abfall rechnerisch aus Halbstundenmittelwerten	untere Werte	2,3 – 21,8	***19;5*** (26,1 g CH4/t)	**55**
		Median	**8,36 – 30,7**		
		obere Werte	10,6 – 44,0		
Distickstoffoxid (N_2O)	Monatsmittelwerte Fracht in **g N_2O/t** Abfall rechnerisch aus Halbstundenmittelwerten	untere Werte.	0,01 – 33,3	***30,3***	**100**
		Median	**1,54 – 59,0**		
		obere Werte	6,23 - 108		

Die in der Erhebung gemeldeten Emissionsdaten sind für den deutschen Anlagenbestand repräsentativ und berücksichtigen alle in Deutschland eingesetzten MBA Varianten. Mit der Erhebung wurden die Bandbreiten der Emissionsfrachten für die jeweiligen Anlagen abgefragt. Nach Rückmeldungen aus 16 Anlagen lagen die unteren Werte der Bandbreiten der Emissionsen für die Einzelanlagen bei C_{ges} zwischen 2,3 und 21,8 g/t Abfall und bei N_2O zwischen 0,01 und 33,3 21,8 g/t Abfall. Die oberen Werte der Bandbreite lagen bei C_{ges} zwischen 10,6 und 44,0 g/t Abfall und bei N_2O zwischen 6,23 und 108 g/t Abfall. Der Median der unteren Werte liegt hier bei 8,36 g $C_{ges.}$/t Abfall und 1,54 g N_2O/t Abfall; der Median der oberen Werte liegt hier bei 30,7 g $C_{ges.}$/t Abfall und 108 g N_2O/t Abfall.

Auf der Grundlage dieser Erhebung wurden für die Jahre ab 2006 die Emissionsfaktoren an die realen Anlagenemissionen angepasst. Für die Emissionsfaktoren wurden jeweils die Mittelwerte aus den Medianen der unteren und oberen Emissionswerte verwendet.;d.h.:

EF-N_2O = 30,3 g N_2O/t Abfall

EF-CH_4 = 26,1 g CH_4/t Abfall (dabei entsprechen 19,5 g $C_{ges.}$ nach stöchiometrischer Umrechnung 26,1 g CH_4 - wobei 12 g C = 16 g CH_4

7.6.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.E Other MBA)

Die Unsicherheiten der mechanisch-biologisch behandelten Abfallmengen werden als sehr gering (2 %) geschätzt, da es sich um eine Totalerhebung handelt, das Niveau der Berichterstattung an das Statistische Bundesamt gut ist und die Betreiber an einer guten Berichterstattung interessiert sind. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für den Zeitraum vor 2005 hängen von der Art der Anlage, der zum Zeitpunkt eingesetzten Anlagentechnik und der Wirkung der eingesetzten Biofilter ab. Da die Angaben aus der Literatur sehr stark schwanken, wurden im Ergebnis des zugrundeliegenden Forschungsvorhabens (IFEU, siehe oben) die Unsicherheiten für Methan mit ± 60% und für Lachgas mit ± 100% (offene MBA) bzw. ± 60% (geschlossene MBA) ermittelt.

Ab 2006 werden ausschließlich geschlossene Anlagen mit Abluftfassung und Behandlung betrieben. Die Emissionen für CH_4- und NO_2. werden kontinuierlich gemessen, sie schwanken jedoch bei allen Einzelanlagen, abhängig von Betriebszuständen und Zusammensetung der Abfälle über größere Bandbreiten. Aufgrund dieser Tatsache und der guten Qualität der Datenbasis werden die Unsicherheiten für den Zeitraum ab 2006 von den Experten im Umweltbundesamt auf ± 20 % geschätzt.

Der sich dabei ergebende Sprung der Unsicherheiten über die Zeitreihe ist aus technischen Gründen im ZSE leider nicht darstellbar. Aus diesem Grunde erfolgt eine Priorisierung, nach der die exakte Quantifizierung der Unsicherheiten für die aktuellen Werte als deutlich relevanter eingestuft wird. Aus diesem Grunde wurden die Unsicherheiten mit der Berichterstattung 2022 über die gesamte Zeitreihe auf ± 20 % angepasst. Der Bezugswert für 1990 ist von dieser Anpassung nicht betroffen, da THG Emissionen aus der MBA erst ab 1995 berichtet werden.

7.6.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.E Other MBA)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich mit den Berichterstattungen anderer Länder wurde mit der Berichterstattung 2021 durchgeführt. Im Ergebnis dessen zeigte sich aber, dass ein IEF-Abgleich nicht möglich ist, weil Deutschland bislang als einzigstes Land THG-Emissionen der MBA im Nationalen Treibhausgasinventar berichtet und keine IEF aus anderen Ländern zum Vergleich zur Verfügung stehen.

7.6.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.E Other MBA)

Bei der Erarbeitung der jeweils aktuellen Inventardaten liegen statistische Daten für die abgelagerten Abfallmengen immer nur für das vorhergehende Berichtsjahr vor, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit einem Jahr Verzug erscheint (siehe Kapitel 7.6.1.2, Aktivitätsdaten). Das aktuelle Berichtsjahr wird daher auf Basis des Trendsder letzten beiden Vorjahre linear extrapoliert. Diese Fortschreibung. wird im jeweils folgenden Jahr durch die dann aktuellen Daten ersetzt. Aus diesem Grund sind jährliche Rückrechnungen für das vorvergangene Jahr erforderlich,

Tabelle 465: Rekalkulation MBA 2019

Bezeichnung	Einheit	Berichtsjahr	2019
Behandelte Abfallmenge	[t]	2022	3.744.400
		2021	3.718.600
CH_4	[kg]	2022	97.729
		2021	97.055
N_2O	[kg]	2022	113.455
		2021	112.674

7.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.E Other MBA)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

8 Andere (CRF Sektor 6)

Nach Empfehlungen des UNFCCC Expertenteams im In-Country-Review 2016 werden keine Treibhausgase in der CRF Kategorie 6 berichtet. Aufgrund fehlenden Eingabemöglichkeiten in einigen entsprechenden Kategorien des CRF Reporters werden für die Nicht-Treibhausgase NO_X, CO und NH_3 unter CRF 6 subsummiert. Die eigentliche Allokation ergibt sich aus folgender Tabelle:

Tabelle 466: Eigentliche Allokation der Nichttreibhausgase unter CRF 6

Schadstoff	Menge in kt	Eigentliche Allokation
CO	0,11	1.B
NO_X	0,03	1.B
NH_3	606,72	3

9 Indirektes CO_2 & N_2O

Die Ausweisung indirekter CO_2-Emissionen aus CO und NMVOC und indirekter N_2O-Emissionen aus NO_X und NH_3 erfolgt für das nationale Inventar nur in Einzelfällen. Werden Angaben gemacht, so werden diese grundsätzlich als regulärer Teil des Inventars behandelt.

Im Einzelnen sind das:

- CRF 1.A: da die Berechnung der Emissionen auf Basis einer Kohlenstoff-Massenbilanz erfolgt, wird indirektes CO_2 bereits durch die Berechnungsmethodik miterfasst, ist aber nicht gesondert ausweisbar.
- CRF 2.D.1 & 3: die NMVOC-Emissionen aus Schmiermitteln (siehe auch Kapitel 4.5.1) und aus der Lösemittelverwendung (siehe auch Kapitel 4.5.3) werden in indirektes CO_2 umgerechnet und in CRF Table2(I).A-Hs2 berichtet.
- CRF 3: in CRF Table 3.B(b) und 3.D werden die indirekten N_2O-Emissionen aus atmosphärischer Deposition und Auswaschung/Oberflächenabfluss berichtet.
- CRF 4: die indirekten N_2O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss werden in CRF Table 4(IV) berichtet.

10 Rückrechnungen und Verbesserungen

10.1 Erklärung und Rechtfertigung der Rückrechnungen

10.1.1 Treibhausgas-Inventar

10.1.1.1 Generelles Vorgehen

Neben Korrekturen gibt es eine Reihe von fachlichen Gründen für Rückrechnungen und Verbesserungen:

- Ergänzende Daten sind verfügbar, die zur Schließung von Fehlstellen des Inventars beitragen.
- Die Datenquelle hat sich geändert.
- Die für die Quellgruppe genutzte Methode wurde an die Vorgaben der *Good Practice Guidance* angepasst.
- Die Quellgruppe ist eine Hauptquellkategorie geworden, so dass ein Methodenwechsel erforderlich wurde.
- Neue länderspezifische Berechnungsverfahren werden angewendet.
- Hinweise und Ergebnisse aus Reviews wurden umgesetzt.

10.1.1.2 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Quellgruppen

Die Rückrechnungen begründen sich diesjährig durch verschiedene methodische Anpassungen, die teilweise erhebliche Veränderungen in den betroffenen Quellgruppen nach sich zogen, sowie weiteren Detailverbesserungen.

Die Inventare enthalten dabei Verbesserungen in folgenden Bereichen (wenn nicht anders angegeben beziehen sich die Änderungen auf die gesamte Zeitreihe):

Energie

In der Quellkategorie 1.A kommt es nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz für das Berichtsjahr 2019 bei den verschiedenen Brennstoffen zu folgenden Rückrechnungen:

(in Mio. t CO_2-äquivalent)	Submission 2021	Submission 2022	Änderung ggü. Submission 2021	
Gesamtemissionen CRF 1.A	660,7	657,7	-3,0	-0,5%
Mineralöle	251,1	246,9	-4,2	-1,7%
Erdgas und Grubengas	168,1	167,5	-0,6	-0,3%
Braunkohlen	126,3	126,6	0,3	0,3%
Steinkohlen	93,7	94,8	1,1	1,2%
Sonstige Brennstoffe/ Rauchgasentschwefelung	21,5	21,9	0,4	1,7%

Quelle: eigene Berechnungen

Größere Änderungen ergeben sich für die Mineralöle und Steinkohlen. Dagegen fallen die Rückrechnungen für Erdgas und Braunkohlen eher gering aus.

Nach Vorliegen der endgültigen Abfalldaten erfolgten zudem Rückrechnungen für die sonstigen Brennstoffe.

Über alle fossilen Brennstoffe betrachtet, ergeben sich für die Quellgruppe 1.A Veränderungen von rund 3,0 Mio. t CO_2.

(darüber hinaus, auszugsweise)

- Routine-Aktualisierung der Rechenmodelle TREMOD und TREMOD MM
- Korrektur der Aufteilung Flugbezin auf Inalands- und Auslandsflüge (1.A.3.a, 1.D.1.a)

- Revision Einsatzmengen Festbrennstoffe in Dampfbahnen, ab 1990 (1.A.3.c)
- grundlegende Revision des Rechenmodells E.M.M.A., ab 1990 (1.A.3.d, 1.D.1.b)
- Korrektur Heizwert Ottokraftstoffe, (1.A.5.b)
- Korrektur Steinkohlenkokserzeugung 2019 (1.B.1)
- Neuerfassung Emissionen aus Betankung von Motorbooten aus Kanistern Auswirkung auf Emissionen von NMVOC (ab 1990) (1.B.2)
- Neuallokation von Emissionen aus Lagerung, ab 1990 (1.B.2)

Industrieprozesse & Produktverwendung

- Implementierung Daten der endgültigen Energiebilanz, ab 2017 (2.C.1)
- Anpassung der Produktionsmenge, 2019 (2.C.2)
- Berücksichtigung von Kfz-Getriebeölen und Revision mitverbrannte Schmierstoffmengen, ab 1990 (2.D.1)
- Ausgleich von Rundungsdifferenzen, ab 1990 (2.D.2)
- Anpassung der Außenhandelsstatistik 2019 (2.D.2, 2.G.4)
- Neuberechnung Emissionen aus Lösemitteln, ab 2018 (2.D.3)
- Verbesserung der Berechnungsmethode für Blasbitumen, ab 1990 (2.D.3.g)
- Korrektur statisches Daten zu Füllmengen, Kältemittelanteilen, PKW-Klimaquoten und Eingangsdaten, ab 2006 (2.F.1)
- Korrektur Inlandsverbräuche sowie erstmalige Datenerhebung gemäß Umweltstatistikgesetz, ab 2005 (2.F.2)
- Aktualisierung Befüllungsmengen ORC-Anlagen, ab 2018 (2.G.4)

Landwirtschaft

- Verwendung von Daten aus Landwirtschaftszählung 2020, ab 2000 (3A, 3B, 3D)
- Tierzahlen: Aktualisierung für Aufzuchtferkel und Mastschweine (3.A, 3.B, 3.D).
- Geflügel, Pferde, Ziegen: Aktualisierung Tierzahlen anhand Landwirtschaftzählung 2020 , ab 2017 (3A, 3B, 3D)
- Mutterkühe: Anpassung von Anfangsgewicht, Energiebedarf und Fütterung, ab 1990 (3.A, 3.B, 3.D)
- Färsen: Korrektur Zusammensetzung Futterinhaltsstoffe, ab 1990 (3.A, 3.B, 3.D)
- Mastbullen: Aktualisierung von Schlachtalter und -gewicht (3.A, 3.B, 3.D)
- Milchkühe: Aktualisierung von Milchleistung und Schlachtgewicht 2019 (3.A, 3.B, 3.D)
- Mastschweine: Aktualisierung Fütterungsdaten, ab 1990 (3.A, 3.B, 3.D)
- Sauen: Aktualisierung Ferkelzahl pro Sau 2019 (3.A, 3.B, 3.D)
- Mastschweine und Aufzuchtferkel: Aktualisierung Anfangs- und Endgewichte 2019 (3.A, 3.B, 3.D)
- Masthähnchen: Anpassung Rohproteingehalt Futters sowie Futterverwertung; Aktualisierung Bruttoschlachtfleischmenge 2019 (3.B, 3.D)
- Puten: Aktualisierung Schlachtgewicht, Gewichtszunahme und Futterverwertungskoeffizienten, ab 2017 (3.A, 3.B, 3.D)
- Jung und Legehennen: Revision Start- und Endgewichte, ab 1990 (3.A, 3.B, 3.D)
- Gänse: Anpassungen N-Ausscheidung, ab 1990 (3.A, 3.B, 3.D)
- neue Tier 2 Emissionsfaktoren für direkte N_2O-Emissionen aus Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm und Gärresten und aus Ernterückständen (3.D)
- Vergärung von Wirtschaftsdünger: Revision Aktivitätsdaten, ab 1990 (3.B, 3.D)
- Vergärung von Energiepflanzen: Aktualisierung Aktivitätsdaten 2019 (3.D, 3.J)

- Mineraldünger, Kalkung, Anwendung von Harnstoff: Revision jahresübergreifende Aktivitätsdaten (3.D, 3.G, 3.H, 3.I)
- Klärschlamm: Aktualisierung ausgebrachte N-Menge 2019 (3.D)
- Bewirtschaftete organische Böden: Aktualisierung Flächen u. Emissionen, ab 1990 (3.D)
- Mineralisierung organischer Bodensubstanz (Ackerland): Aktualisierung N-Mengen, ab 1990 (3.D)
- Ernterückstände: Aktualisierung N-Mengen, ab 2000 (3.D)

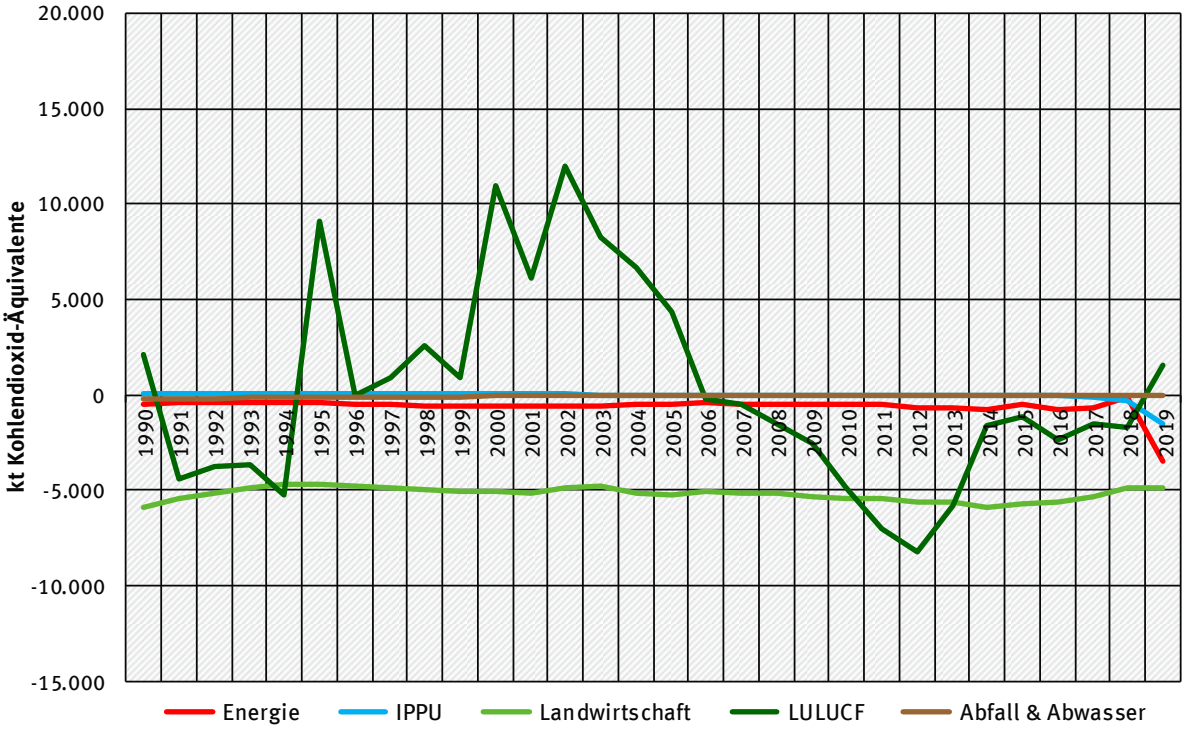
Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft:

- Revision Emissionsfaktoren für Waldbiomasse
- Totholz: Korrektur der EF für die Aufforstung
- Anpassung Emissionsfaktoren für Vornutzung bei der Umwandlung von Gehölzen (Grünland) zu Wald
- Holzprodukte: Korrektur zuletzt vorläufigerer FAOSTAT-Daten für 2019
- Korrektur Faserplatten als Teilmenge der Holzwerkstoffe FAOSTAT, ab 1995
- Ackerland: Subkategorie „Sonstige perennierende Ackerlandkulturen“ ersetzt durch neue Subkategorien „Baumschulen“, „Weihnachtsbaumkulturen“ und „Kurzumtriebsplantagen“
- Implementierung Modelle zur Berechnung und Nachverfolgung Kohlenstoffvorrat in Biomasse perennierender Pflanzen außerhalb des Waldes

Abfall und Abwasser:

- Aktualisierung statistischer Daten 2018 (5.A.1)
- Sektor-spezifische Konsolidierung der Dichte von Methan, ab 1990 (5.A.1, 5.B.2, 5.E.1)
- Korrektur Rundungsfehler Aktivitätsdaten (5.A.1, 5.B.2)
- Anpassung von FIND-COM sowie Umstellung Berechnung Proteinmenge, ab 1990 (5.D.1)

Abbildung 88: Änderung der Gesamtemissionen über alle Kategorien gegenüber Submission 2021



10.1.1.3 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Substanzen

Rückrechnungen erfolgten in folgenden Quellgruppen (siehe auch Nennungen unter 10.1.1.2):

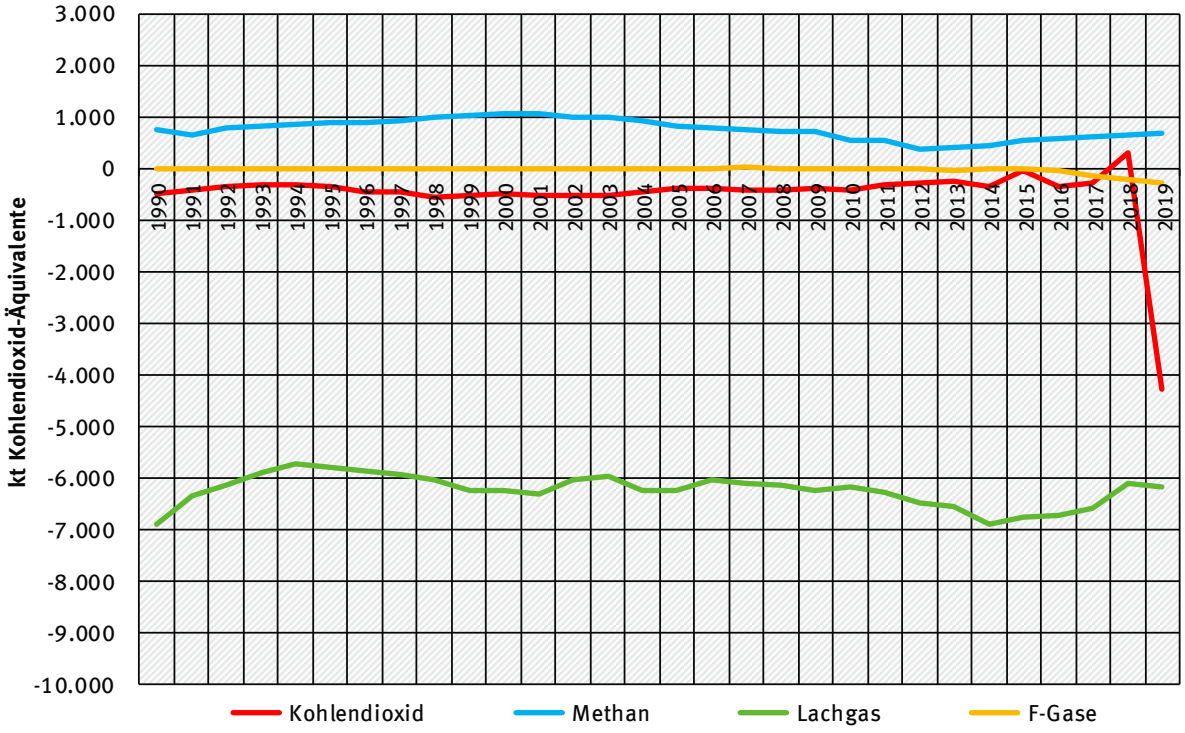
Tabelle 467: Übersicht der von Rückrechnungen betroffenen CRF-Oberkategorien

CRF	CO_2	CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	NF_3
1 - Energie	x	x	x				
2 - IPPU	x	x	x	x	x	x	x
3 - Landwirtschaft	x	x	x				
4 - LULUCF	x	x	x				
5 - Abfall & Abwasser		x	x				

Tabelle 468: prozentuale Änderungen gegenüber der vorjährigen Berichterstattung

		Basisjahr	2019
Gesamt (CO_2-äquiv.)		-0,53%	-1,24%
CO_2	1990:	-0,05%	-0,60%
CH_4		0,63%	1,37%
N_2O		-10,6%	-17,6%
F-Gase	1995:	0,00%	-2,05%

Abbildung 89: Rückrechnung der Gesamtemission der einzelnen Treibhausgase über alle Quellgruppen gegenüber der Submission 2021



10.1.1.4 Rückrechnungen als Umsetzung von Ergebnissen des Review Prozesses

Gegenüber der Submission 2021 erfolgten mehrere auf Hinweisen oder Empfehlungen aus Reviews resultierenden Rückrechnungen. Details hierzu finden sich in den entsprechenden Kapiteln der betroffenen Sektoren.

10.1.2 KP-LULUCF-Inventar

10.1.2.1 Generelles Vorgehen

Das methodische Vorgehen bei Rückrechnungen unter dem Kyoto Protokoll entspricht dem bei der Konvention angewendeten. Ausführliche Informationen zum generellen Vorgehen finden sich im Kapitel 10.1.1.1.

10.1.2.2 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Kategorien

Die Rückrechnungen betreffen die von Deutschland zu berichtenden KP-Kategorien Aufforstung (A), Entwaldung (D) und Waldbewirtschaftung (FM) sowie die Acker- (CM) und Weidelandbewirtschaftung (GM), da neben Emissionsfaktoren (z.B. Waldbiomasse und Totholz sowie bei Siedlungen (vergl. Kapitel 10.1.1.1 und 11.3.1.4) auch Berechnungs- und Erfassungsmethoden modifiziert wurden (z.B. Emissions- und Flächenberechnung organische Böden, Mineralböden LUC Siedlungen).

Für die Holzprodukte (*Harvested Wood Products – HWPs*) wurden mittels der FAO-Datenbank die Produktkategorien Papier und Pappe, Schnittholz und Holzwerkstoffe aktualisiert und korrigiert (siehe Kapitel 6.10.5).

10.1.2.3 Rückrechnungen im Inventar 2022 nach Substanzen

Die beschriebenen Änderungen wirken sich auf die Höhe der Emissionen aller zu berichtenden Treibhausgase aus.

10.2 Auswirkung auf die Höhe der Emissionen

10.2.1 Treibhausgas-Inventar

Die Veränderungen gegenüber Submission 2021 fallen mit -0,53 % für 1990 bzw. -1,24 % für 2019 höher aus als in der vorangegangenen Submission. Ursächlich hierfür sind vor allem die gesamte Zeitreihe betreffende Rückrechnungen im Sektor *Landwirtschaft*.

Für die einzelnen CRF-Sektoren sind die Veränderungen innerhalb der für 1990 bzw. 2019 berichteten Emissionen in Tabelle 471 und Tabelle 472 dargestellt.

Das Inventar wurde in Bezug auf Vollständigkeit und Genauigkeit weiter verbessert.

Tabelle 469: Rückrechnung der nationalen THG-Gesamtemissionen (ohne LULUCF)

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung ggü. Submission 2020	
	[kt CO_2-äqui.)	[kt CO_2-äqui.)	[kt CO_2-äqui.)	[%)
1990	1.248.577	1.241.919	-6.658	-0,53%
1995	1.120.555	1.115.305	-5.250	-0,47%
2000	1.042.612	1.036.926	-5.686	-0,55%
2005	992.530	986.709	-5.820	-0,59%
2010	941.805	935.768	-6.037	-0,64%
2011	917.274	911.244	-6.030	-0,66%
2012	923.342	916.901	-6.441	-0,70%
2013	940.420	933.987	-6.432	-0,68%
2014	901.255	894.465	-6.791	-0,75%
2015	904.262	897.954	-6.308	-0,70%
2016	907.968	901.442	-6.526	-0,72%
2017	892.076	885.729	-6.346	-0,71%
2018	855.890	850.542	-5.348	-0,62%
2019	809.799	799.734	-10.065	-1,24%

Quelle: eigene Berechnungen

Die nachrichtlich berichteten Emissionen der sogenannten MemoItems wurden gegenüber der vorangegangenen Berichterstattung deutlich korrigiert. Maßgeblich hierfür sind die Revision des für den Seeverkehr genutzten Rechenmodells sowie die Neuberechnung der Emissionen gemäß der KP-Berichterstattung zu den Artikeln 3.3 und 3.4.

Tabelle 470: Rückrechnungen der nachrichtlichen Inventardaten (Memo Items)

	1990	2019
nachrichtliche Emissionen:	**5,42%**	**4,89%**
aus internationalen Verkehren	3,86%	0,39%
davon: internationaler ziviler Flugverkehr	0,01%	-0,04%
davon: internationaler Schiffsverkehr	11,0%	4,0%
aus multilateralen Militäreinsätzen	NE	NE
CO_2 aus der Verbrennung von Biomasse	0,00%	2,09%
KP Reporting	14,0%	-13,1%
aufgefangenes CO_2 (CCS)	NO	NO

Quelle: eigene Berechnungen

10.2.1.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990

Die Gesamtemissionen (ohne LULUCF) für 1990 werden um etwa 0,53 % bzw. 6.658 kt CO_2-Äquivalente nach unten korrigiert (siehe Tabelle 471).

Die maßgeblichen inventarwirksamen Korrekturen erfolgen dabei im Sektor *Landwirtschaft* (-5.928 kt | -7,75 %).

Hinzu kommen vergleichsweise geringfügige Korrekturen in den Sektoren *Energie* (-555 kt), *Industrieprozesse und Produktanwendung* (+58 kt) sowie *Abfall & Abwasser* (-232 kt).

Die seit der vorangegangenen Submission für den *LULUCF*-Sektor berichtete netto-CO_2-Freisetzung wird mit +2.284 kt nochmals spürbar (+10 %) nach oben korrigiert. Parallel erfolgt eine Minderung der Methan- und Lachgas-Emissionen um 143 kt bzw. 5,61 %.

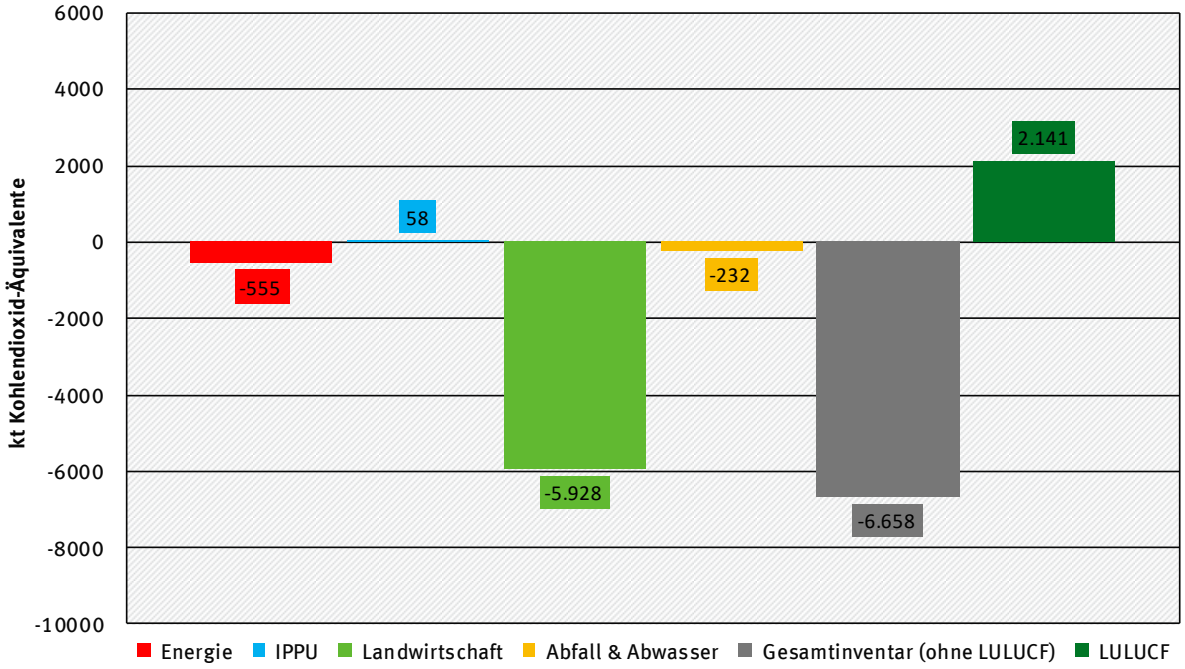
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 471: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 1990

	Submission 2021 [kt CO_2-äqui.]	Submission 2022 [kt CO_2-äqui.]	Änderung ggü. Subm. 2021 [kt CO_2-äqui.]	[%]
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	**1.248.577**	**1.241.919**	**-6.658**	**-0,53%**
1. Energie	1.036.998	1.036.444	-555	-0,05%
2. IPPU	96.833	96.891	58	0,06%
3. Landwirtschaft	76.509	70.581	-5.928	-7,75%
4. Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	24.862	27.003	2.141	-8,61%
CO_2 (Netto-Emissionen/Einbindung)	*22.307*	*24.591*	*2.284*	*10,2%*
N_2O + CH_4 (Emissionen)	*2.555*	*2.412*	*-143*	*-5,61%*
5. Abfall & Abwasser	38.235	38.003	-232	-0,61%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 90: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 1990



10.2.1.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2019

Die für das Jahr 2019 berichteten Gesamtemissionen ohne LULUCF werden im Vergleich zur Submission 2021 um 10.065 kt CO_2-Äquivalente bzw. 1,24 % deutlich nach unten korrigiert (siehe Tabelle 472).

Die maßgeblichen Korrekturen verteilen sich dabei auf die Sektoren *Energie* (-3.526 kt | -0,52 %), *Landwirtschaft* (-4.927 kt | -7,97 %) sowie *Industrieprozesse und Produktanwendung* (-1.566 kt | -2,55 %).

Hinzu kommen kleinere Änderungen im Sektor *Abfall & Abwasser* (-46 kt | -0,50 %).

Im *LULUCF*-Sektor kommt es für 2019 zu einer Verminderung der CO_2-Senkenleistung um 1.541 kt. Die Methan- und Lachgas-Emissionen erhöhen sich marginal (+31 kt | 0,91 %).

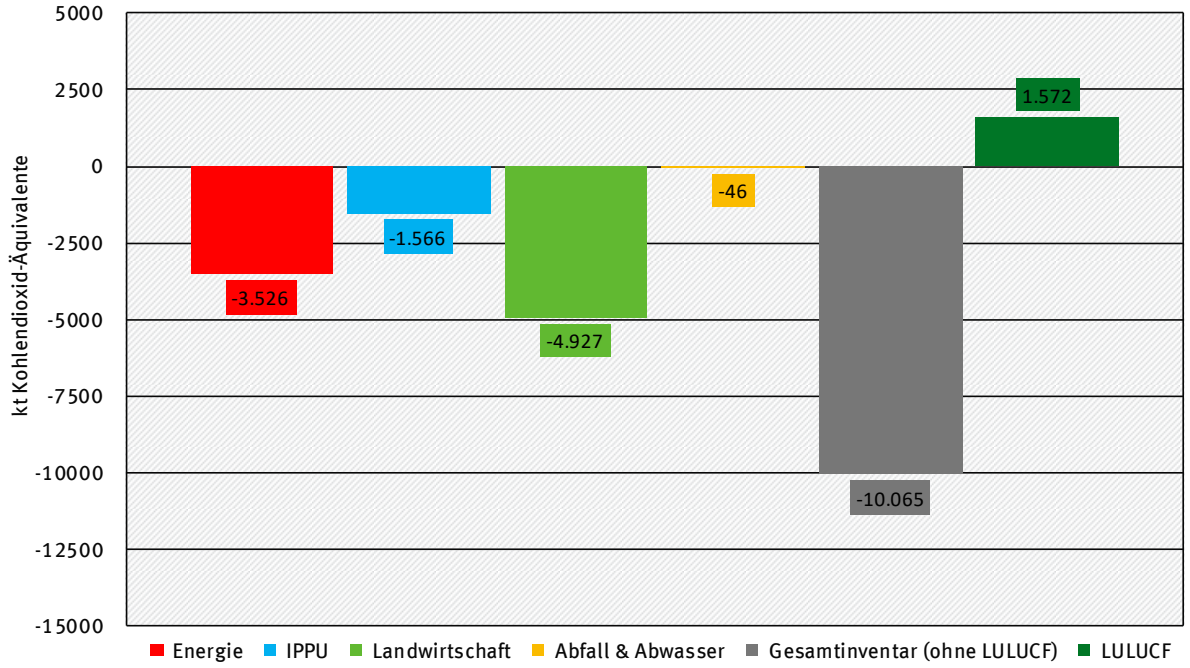
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 472: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung ggü. Subm. 2021	
	[kt CO_2-äqui.]	[kt CO_2-äqui.]	[kt CO_2-äqui.]	[%]
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	**809.799**	**799.734**	**-10.065**	**-1,24%**
1. Energie	677.361	673.836	-3.526	-0,52%
2. IPPU	61.356	59.790	-1.566	-2,55%
3. Landwirtschaft	61.839	56.912	-4.927	-7,97%
4. Landnutzungsänderung u. Forstwirtschaft	-16.464	-14.892	1.572	9,55%
CO_2 (Netto-Emissionen/Einbindung)	*-19.805*	*-18.264*	*1.541*	*7,78%*
N_2O + CH_4 (Emissionen)	*3.341*	*3.372*	*31*	*0,91%*
5. Abfall & Abwasser	9.243	9.196	-46	-0,50%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 91: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2019



10.2.2 KP-LULUCF-Inventar

10.2.2.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990

Die Ergebnisse der Rückrechnung für das Jahr 1990 bezüglich der Emissionen der einzelnen KP-Kategorien sind in Tabelle 473 dargestellt. Insgesamt ist eine Zunahme der Emissionen um 29,04% zu verzeichnen.

Einige Kategorien zeigen deutliche Veränderungen, die zum einen auf die Unterschiede in den Aktivitätsdaten zurückzuführen sind; infolge der Aktualisierung des B-DLM-Datensatzes des ATKIS® (vergl. Kapitel 6.3). Zum anderen durch Änderungen von Emissionsfaktoren für die Waldbiomasse und dem Totholz sowie für Siedlungen und durch Methodenverbesserungen bei der Herleitung der organischen Böden.

Tabelle 473: Rückrechnung der Gesamtemissionen 1990, in kt CO_2-Äquivalenten

Landnutzungskategorie	Submission 2021	Submission 2022	Änderung ggü. Subm. 2021	
	[kt CO_2-äqui.]	[kt CO_2-äqui.]	[kt CO_2-äqui.]	[%]
Aufforstung (KP 3.3)	677,9374	527,794	-150,143	-22,15%
Entwaldung (KP 3.3)	206,771	286,824	80,053	38,72%
Waldbewirtschaftung (KP 3.4)	-22.220,671	-21.213,242	1.007,429	-4,53%
Ackerlandbewirtschaftung (KP 3.4)	10.749,908	14.141,849	3.391,941	31,55%
Grünlandbewirtschaftung (KP 3.4)	26.752,484	27.118,388	365,904	1,37%
Gesamt	16.166,429	20.861,613	4.695,184	29,04%

Quelle: eigene Berechnungen

10.2.2.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2020

Die Auswirkungen der Rückrechnung auf die THG-Emissionen der KP-Kategorien im Jahr 2020 sind moderat (siehe Tabelle 474). So wird insgesamt eine Abnahme der Senkenfunktion von 35,6% ausgewiesen.

Mit Ausnahme der Kategorien Aufforstung und Entwaldung zeigen die anderen Kategorien eine Zunahme der Nettoemissionen bzw. Abnahme der Nettoeinbindung. Ursache hierfür sind in der Waldkategorie hauptsächlich die geänderten Emissionsfaktoren für die Biomasse; in der

Kategorie Grünlandbewirtschaftung die Methodenänderung zur Berechnung der THG-Emissionen aus organischen Böden

Tabelle 474: Rückrechnung der Gesamtemissionen 2019, in kt CO_2-Äquivalenten

Landnutzungskategorie	Submission 2021	Submission 2022	Änderung ggü. Subm. 2021	
	[kt CO_2-äqui.]	[kt CO_2-äqui.]	[kt CO_2-äqui.]	[%]
Aufforstung (KP 3.3)	-564,984	-725,089	-160,105	28,34%
Entwaldung (KP 3.3)	1646,275	1.274,136	-372,139	-22,60%
Waldbewirtschaftung (KP 3.4)	-56930,324	-54.098,446	2831,878	-4,97%
Ackerlandbewirtschaftung (KP 3.4)	6195,059	16.551,797	10356,738	167,18%
Grünlandbewirtschaftung (KP 3.4)	22035,480	20.465,601	-1569,879	-7,12%
gesamt	-27.618,494	-16.531,999	11.086,495	-40,14%

Quelle: eigene Berechnungen

10.3 Auswirkung auf die Emissionstrends und die Konsistenz der Zeitreihe

10.3.1 Treibhausgas-Inventar

Die Konsistenz der Zeitreihen hat sich auf Grund der Rückrechnungen verbessert.

Im Ergebnis stellt sich der Trend der nationalen Gesamtemissionen (ohne LULUCF) gegenüber dem aktuellen Basisjahr in einer Reduktion von rund 41,3 % dar.

Insbesondere infolge der Auswirkungen der Pandemie liegen die reinen CO_2-Emissionen 2020 fast 10 % unter den Werten des Vorjahres.

Mit einem Minus von 1,9 % bzw. 2,7 % fallen die Minderungen für Methan und Lachgas dagegen deutlich geringer aus. Die Emissionen der Summe der F-Gase sinken dagegen ebenfalls deutlich um über 11 %, wobei die Trends der einzelnen F-Gase sich weiterhin uneinheitlich entwickeln.

10.3.2 KP-LULUCF-Inventar

Die Konsistenz der Zeitreihen bleibt trotz der durchgeführten Rückrechnungen gewahrt. Durch die implementierten methodischen Änderungen und Verbesserung der Datenquellen konnte eine deutliche Verbesserung des KP-LULUCF – Inventars insbesondere bezüglich der Genauigkeit herbeigeführt werden.

10.4 Verbesserungen des Inventars

10.4.1 Treibhausgas-Inventar

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Verbesserungen der THG-Emissionsberichterstattung aufgrund der Hinweise und Anmerkungen des ERT aus den zurückliegenden Überprüfungen unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Kyoto Protokoll zusammen. Die Tabelle nennt nur Aspekte, die nicht bereits während der Überprüfung gelöst wurden.

Tabelle 475: Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
0.	In CRF table 6, indirect emissions of CO2 and N2O from the energy and IPPU sectors were reported as "NO". Furthermore, neither a notation key nor a figure was reported for the indirect emissions of CO2 and N2O from the LULUCF and waste sectors. During the review, Germany explained that it applied the same approach to the calculation of indirect emissions as during the first commitment period of the Kyoto Protocol. The Party stated that the notation keys for indirect emissions would be changed to "NE" in the next submission. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Comparability	Issue has been resolved: CRF-table 6 and chapter 9 of the NIR have been revised according to review recommendation	2018	G.11, Table 6	G7, Table 3 2020; (G.8, Table 3, 2020)	NIR 2022, chap. 9 and CRF-table 6
0.	While the Party reported key categories pursuant to the tier 1 approach in NIR table 6, the table does not clearly segregate categories identified as key by level from those identified as key by trend, because the headings of the columns of the table refer to the level assessment only. The ERT noted that this is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1, tables 4.2–4.3) because the relationship between the level and the trend of each category's emissions and removals is not systematically and transparently presented. During the review, the Party clarified that an error had been made in the headings for columns 10–12 of NIR table 6, but the data in the table are correct. Is finding an issue/problem?: Not an issue/problem	the mistakes were corrected.	2020	G.9, Table 5		see NIR 2021, chapter 1.5.1, table 6.
0.	The Party reported potential further improvements to individual categories in the sectoral chapters of its NIR (e.g. in section 3.2.12.3, p.158), but not all these potential further improvements were included in NIR table 510 on planned improvements, although sometimes the table is cross-referenced. The ERT noted that this is not in accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines because information obtained from implementing the QA/QC programme, the inventory review process and other verification activities should be considered in the development and/or revision of the QA/QC plan and the quality objectives. During the review, the Party clarified that data loss had occurred when entering the planned improvements into NIR table 510, but this was not noticed until after the NIR had been finalized. Is finding an issue/problem?: Yes. Convention reporting adherence	Development of a new Checklist for the QSE-Coordinator to enshure that all the needs for category-specific improvements are included in the inventory plan.	2020	G.10, Table 5		-
1.D.1.a.	Gaseous fuels: In CRF table 1s2, the cells for reporting CO2 captured for domestic storage and for storage in other countries were left blank. During the review, Germany clarified that this should be reported as "NO" ERT: Finding is an issue and/or a problem: Yes	Issue has been resolved, by adding the aproprIate notation key	2015, 2016	E.18, Table 5	E.5, 2018; E.3, Table 3, 2020;	CRF table 1.C
2.A.1.	Germany reported that recalculations were made to include dust discharged via the bypass path for the entire time series (NIR, section 4.2.1.5). The ERT noted that the methodology used to estimate bypass dust was not explained in the NIR. During the review, Germany explained that the German Cement Works Association estimates the bypass dust for its members, which results in a similar value to the default EF of the IPCC (2 per cent). The Party stated that in the future, the IPCC default EF would be used. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Transparency	Description has been improved.	2018	I.10, Table 5	I.1, Table 3, 2020;	NIR 2021, 4.2.1.2

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
2.A.4.b.	The Party reported large inter-annual variation in CO2 emissions for subcategory 2.A.4.b (other uses of soda ash) between 2016 and 2017 (–39.6 per cent) and 2017 and 2018 (–65.6 per cent) in CRF table 2(I).A-Hs1, and also reported that emissions decreased from 205.7 kt CO2 in 2016 to 42.7 kt CO2 in 2018. Germany stated in the NIR (section 4.2.4.2.2, p.309) that "at the time the inventory was being prepared, clarification of those figures was still underway…the low values for the years 2017 and 2018 lead to a decreasing trend, one that cannot yet be explained from a technical industry standpoint and that would seem to arise calculatory from the balance-sheet method used". During the review, the Party explained that verification of these figures is still in progress and that it is aiming to make relevant improvements for the next submission. During the review, the ERT determined there were no underestimates of emissions. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Even though waiting until the last possible moment, we do not have the necessary data to restructure the entire soda calculation. Thus, an update was made according to the previous method.	2020	I.16, Table 5		NIR-Ch. 4.2.4.2.3
2.B.2.	Germany reported that emission control technologies are used and "in some cases catalytic decomposition directly following ammonia combustion" occurs (NIR, section 4.3.2.2). During the review, Germany explained that secondary catalytic reduction of N2O and NH3 is used. The ERT noted the reporting and documentation section of the 2006 IPCC Guidelines (volume 3, chapter 3.3.4.2) indicates that it is good practice to document all information required to produce the inventory and that in the case of nitric acid production, the type of abatement technology is an example of specific documentation. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Transparency	The follwing information "During the review, the Party clarified that selective catalytic reduction technology is used to reduce N2O and NH3 emissions, and that one plant has two selective catalytic reductions in a row." is added in the NIR.	2018	I.16, Table 6	I.5, Table 3, 2020;	See NIR 2022, chapt. 4.3.2.2, p. 313
2.B.3.	The 2014 review report contained a recommendation on the methodology used to estimate N2O emissions from adipic acid production (see table 3, ID# I.2). In the 2016 submission, Germany improved the transparency of its reporting on the methodology used to estimate N2O emissions from the three plants in operation (page 318). It is reported that one of the three plants, which started operation in 2002, has been conducting measurements continuously since 2013. However, Germany did not report how the emissions for that plant were estimated during the period 2002–2012, prior to when the measurements started ERT: Finding is an issue and/or a problem: Yes	Resolved	2015, 2016	I.9, Table 5	I.4, 2018; I.8, Table 3, 2020	NIR 2019, chapter 4.3.3.2 and NIR 2021, chapter 4.3.3.3
2.C.2	The Party reported the source of the AD used to estimate CO2 emissions for category 2.C.2 (ferroalloys production) from 1995 onward in its NIR (section 4.4.2.1, p.342), but did not provide information on the AD used for 1990–1994. During the review, the Party clarified that production figures from the Federal Statistical Office were used for 1990–1994, but since 1995, these production figures have not been included in national production statistics. As a result of this situation, data from the British Geological Survey were used for 1995 onward. Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Resolved	2020	I.17, Table 5		see NIR 2021, chapter 4.4.2.2
2.D.1.(a)	The Party reported emissions of 138.84 kt CO2 and 2.33 kt NMVOC for 2011 in CRF table 2(I)s2. NIR table 213 shows the recalculation made for 2011 resulted in a much higher change to the emissions (33.70 per cent) than the recalculations made for other years, which ranged from –0.37 to +0.48 per cent. During the review, the Party provided the calculation spreadsheet for NMVOC and CO2 emissions from stationary lubricant use. The ERT noted that the NMVOC emissions for 2011 were calculated as 23.33 kt, not 2.33 kt as reported in CRF table 2(I)s2. Germany explained after examining the point raised by the ERT that a transcription error must have occurred with the decimal place in the database and that it would be corrected in the next submission. The ERT noted that this error in NMVOC emissions resulted in an error in CO2 emissions. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Resolved	2020	I.18, Table 5		see NIR 2021, chapter 4.5.1.4

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
2.D.2	The Party reported a CO2 IEF of 2.50 t CO2/t product in CRF table 2(I).A-Hs2 for category 2.D.2 (paraffin wax use), while the NIR (section 4.5.2.1, p.358) provides a value of 2.9467 t CO2/t product. The EF in the NIR is consistent with the default EFs in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 2, chap. 1), that is, 40.2 TJ/kt in table 1.2 (default net calorific values) and 73.3 kg/TJ in table 1.4 (default CO2 EFs for combustion), while the EF in CRF table 2(I).A-Hs2 is not consistent with these default values. During the review, the Party clarified that the AD in CRF table 2(I).A-Hs2 for category 2.D.2 include the biogenic fraction (15 per cent) of wax, thus resulting in an artificial IEF for CO2 emissions. Is finding an issue/problem?: Yes. Comparability	Resolved	2020	I.19, Table 5		see NIR 2021, chapter 4.5.2.2
2.E.3	The Party reported in its NIR (section 4.6.3.1, p.374) that “in Germany, use of SF6 in solar technology began in 2003…from 2014 onward, no wafer production with SF6 has taken place in Germany”. For category 2.E.3 (photovoltaics), CRF table 2(II).B-Hs1 reports consumption and emissions of SF6 for 2018 as 0.05 t and 0.002 t, respectively. For 1990–2002 and 2014–2017, consumption and emissions have blank cells. During the review, the Party confirmed the 2018 data from the Federal Statistical Office are incorrect and would be corrected for the next submission, and indicated that the appropriate notation key, “NO”, would be reported for 2018. Is finding an issue/problem?: Yes. Comparability	The value was replaced by the notation key.	2020	I.20, Table 5		Subm 2021, CRF table 2(II)B-Hs1 2018
2.G.3	The Party reported that it made recalculations of N2O emissions for subcategory 2.G.3.a (medical applications) for 1990–2002). CRF table 2(I).A-Hs2 in the 2019 submission reports N2O emissions for 1990–2002 (ranging between 6.81 kt N2O in 1990 to 3.42 kt N2O in 2002), while CRF table 2(I).A-Hs2 in the 2020 submission reports emissions as “C” (confidential) for 1990–2002. There are no recalculations for 2003 onward. During the review, the Party clarified that the export from the database to CRF Reporter did not work, so a lot of IPPU data had to be added to CRF Reporter manually. This led to what is assumed to be human error, and N2O emissions from anaesthetic use, explosives, semiconductor production, and propellant for pressure and aerosol products being reported as confidential. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	The missing N2O emissions were added´.	2020	I.21, Table 5		Subm 2021, CRF table 2(I)H-As2
3.	The Party reported the dairy cattle population in its NIR (p.454) and in Haenal et al. (2020, section 3.4.2.2). The population decreased significantly from 1990 to 1991 – by 11.4 per cent – but the reason for this change is not described in the NIR or in Haenal et al. (2020). The Party also reported the IEF for enteric fermentation of swine in CRF table 3.As1. The IEF decreased significantly from 1990 to 1991 – by 16.3 per cent – but the reason for this change is not described in the NIR or in Haenal et al. (2020). During the review, the Party clarified that after German reunification in 1990, the animal populations of dairy cattle and swine decreased due to structural changes resulting from the reunification. Is finding an issue/problem?: Not an issue/problem	Issue has been resolved.	2020	A.6, Table 5		see NIR 2022 chap. 5.3.1.2.3

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
3.A.1.	Germany stated in the agriculture sector methodology report (Haenel et al., 2018, section 4.7.2) that mean annual ME requirement of suckler cows is assumed to be constant at 36,000 MJ per animal, and that a share of 1,620 MJ per animal is consumed with concentrates and the rest is consumed with pasture grass and grass silage. During the review, in response to the ERT's request that performance parameters (e.g. weight, weight gain, milk yield) applied as the basis for ME and DMI of suckling cows be specified, Germany explained that constant ME and DMI values were used and that they were obtained from KTBL (2006). The reference represents data for a typical suckling cow, and is widely used by German farmers for planning purposes. Therefore, the Party considers that the reference correctly represents German agricultural practice and takes energy requirements from all activities into account. The ERT noted that Germany reported, in its supplementary Excel file to Haenel et al. (2018), data on mean percentage time spent on pasture by suckling cows (table AI1005CAT.130). This grazing time has an increasing trend, increasing from 41.5 per cent in 1990 to 47.3 per cent in 2016. In response to a question raised by the ERT on how energy required for activities (e.g. walking, eating from pasture) is considered in the estimation of ME and DMI of suckling cows, as DMI and ME values per head of suckling cow are kept constant to estimate the enteric fermentation CH4 EF over the entire time series, the Party explained that, based on the calculations completed by KTBL (an enquiry was sent to KTBL during the review), the impact of the difference in grazing times between 1990 and 2016 on extra ME requirement is negligible (141 MJ per animal per year) and, hence, it might be accounted for under conservative rounding up, because Germany used, in the inventory, 36,000 MJ per animal per year instead of 35,766 MJ per animal per year as reported by KTBL. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Transparency	Issue has been resolved.	2018	A.11, Table 6	A3, Table 3, 2020;	see NIR 2022 chap.5.1.3.3, Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B), see table 231
3.A.1.	Germany reported in the agriculture sector methodology report (Haenel et al. (2018), p.151) on the methodology applied to estimate ME requirements of heifers, which include the energy required for maintenance and for growth for various weight gains and during pregnancy. The ERT noted that Germany reported, in its supplementary Excel file to Haenel et al. (2018), data on mean percentage time spent on pasture by heifers (table AI1005CAT.69). This grazing time has a slightly increasing trend, increasing from 20.0 per cent in 1990 to 20.7 per cent in 2016. During the review, in response to a question raised by the ERT on how energy required for activities (e.g. walking, eating from pasture) is considered in the estimation of ME of heifers, Germany explained that average ME requirements due to grazing were taken into account, but variations in mean percentage time spent on pasture were not reflected in the estimations of average ME. In addition, the Party explained that is not clear how much grazing time was assumed when deriving the data in table 4.32 of Haenel et al. (2018) (ME requirements as a function of animal weight and weight gain). Moreover, Germany stated that the influence of weight gain and weight on ME requirements is of much more importance than the influence of grazing time, as the change in grazing times of heifers from 20.0 per cent in 1990 to 20.7 per cent in 2016 is small. The Party also stated that data on mean percentage time spent on pasture are considered in the calculation of ME contributions by pasture grass and grass silage, which has a slight impact on the estimations of VS value and Nex rate. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Transparency	Issue has been resolved.	2018	A.12, Table 6	A.4, Table 3, 2020;	see NIR 2022 chapter 5.1.3.3, Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B), see table 231

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
3.B.3.	The Party reported that there are no other manure management systems (free range pigs) in the country in CRF table 3.B(b) and in the NIR (p.464) that "free-range management of swine plays an insignificant role in Germany and it is thus not occurring in Germany". During the review, the Party clarified that, according to the 2010 agriculture census conducted by the Federal Statistical Office, there were approximately 48,800 free range pigs in 2010, equating to 0.2 per cent of all swine housing types. The Party explained that according to expert opinion, this population has not changed because of the strict national requirements for swine housing systems, and further, that free range pigs are not excluded from the inventory but are included in other management systems because total pig numbers are used in the inventory. Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Issue has been resolved.	2020	A.7, Table 5		see CRF Table3.B(a)s2, and NIR 2022 chapter 5.1.3.6 ff.
3.D.a.2.c + 3.D.b	The Party reported in its NIR (p.509) that the emissions associated with the application of biowaste residues to crops as fertilizer are included under the waste sector. In the waste chapter (on p.709 regarding composting facilities and p.712 regarding digestion plants) the Party reported that EFs for the composting of biowaste include both emissions from the composting itself and emissions from the storage and application of the compost. Furthermore, the Party stated in the NIR (p.709) that "the nitrous oxide emissions following fertilization with compost are very low. They can be neglected, since the nitrogen they include is organically bound and mineralizes very slowly". The ERT noted that the 2006 IPCC Guidelines (vol. 3, chap. 11) recommend that direct and indirect N2O emissions from organic fertilizers applied to managed soils be estimated. The Guidelines provide a default EF of 0.01 kg N2O- N per kg N applied to estimate direct N2O emissions, 0.01 kg N2O-N per kg NH3-N and NOX-N volatilized to estimate indirect N2O emissions, and 0.0075 kg N2O per kg N to estimate leaching and run-off. During the review, the Party confirmed that the EF for the composting of biowaste is based on a country study (Cuhls et al., 2015) and it includes composting as well as the storage of compost and its application onto soils. Germany reported that the emissions from the storage and application of biowaste are 25g N2O per Mg biowaste. Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Detailed information on the composition of the used EFs for N2O, regarding treatment, application and minerlisation have been added to the NIR, including a comparison with the default factor from IPCC. Addiotionally the questioned statement has been deleted and the sentence adjusted accordingly.	2020	A.8, Table 5		See NIR chap. 7.3.1.2 and 7.3.2.2
4.	The ERT encourages Germany to use the Wetlands Supplement in preparing its annual inventory for CO2 off-site emissions in drained organic soils for future annual submissions. Is finding an issue/problem?: Not an issue/problem	Issue has been resolved.	2020	L.7, Table 5		see NIR 2022 chapter 6.1.2.2.2 and 6.7.2

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
4.A .	The Party reported in its NIR (section 6.4.2.2.8, p.606) that to calculate carbon stock changes between two time points (1987–2002, 2002–2008, 2008–2012 and 2012–2017), the “continuous forest inventory” method was used; that is, for scaling up a national total estimate, only cluster points that were included at both time points were used. The same method has been applied to biomass and DOM carbon pools, although for DOM, the carbon stock data are limited to three points in time (2002, 2008 and 2017). The ERT noted that the total biomass carbon stock change reported for the forest domain under the Convention in CRF table 4.A (forest land remaining forest land and land converted to forest land, with the latter limited to stock gains) and CRF tables 4.B–4.E (forest land converted to other land uses, limited to stock losses) does not match the total biomass carbon stock change reported under the Kyoto Protocol in CRF tables 4(KP-I)A.1 (afforestation and reforestation, limited to stock gains), 4(KP-I)A.2 (deforestation, limited to stock losses) and 4(KP-I)B.1 (FM). The same inconsistency was found for the DOM carbon pool. For instance, for 2017, the total forest-related biomass annual net carbon stock change reported under the Convention is 13,986.504 kt C (forest land remaining forest land, 12,551.962 kt C; land converted to forest land, 1,697.615 kt C; forest land converted to other land uses, –263.073 kt C), while under the Kyoto Protocol the total is 14,591.672 kt C (FM, 12,391.471 kt C; AR, 2,515.870 kt C, deforestation, –315.668). Similarly, for DOM, the total annual net carbon stock change reported for 2017 under the Convention is 845.838 kt C (forest land remaining forest land, 884.969 kt C; land converted to forest land, 105.690 kt C; forest land converted to other land uses, –144.822 kt C) and under the Kyoto Protocol is 925.831 kt C (FM, 873.172 kt C; AR, 197.628 kt C; deforestation, –144.969 kt C). The ERT also noted that the forest definition applied under the Convention does not significantly differ from that applied under the Kyoto Protocol (NIR, p.781) and that carbon stock change estimates under both reporting requirements are based on data from the same database and on the same methodologies for determining land representation (NIR, sections 6.2–6.3) and calculating carbon stock changes (NIR, pp.790–791). Thus, for each carbon pool in each inventory year the total carbon stock change of the forest domain reported under the Convention should match the one reported under the Kyoto Protocol; further, both should match the total carbon stock change calculated by subtracting the total carbon stock determined from an NFI from the total carbon stock of the previous NFI. During the review, the Party did not provide any additional information. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Issue has been resolved.	2020	L.10, Table 5		see NIR 2022 chapter 6.1.2.3.1, 6.1.2.3.2, 6.1.2.3.8, 6.1.2.4, 6.4.2.5.2
4.A .	The Party reported in its NIR (sections 6.2–6.3) that the same data sources and methods were applied to land representation for LULUCF under the Convention as to KP-LULUCF activities under the Kyoto Protocol. The Party also reported that the forest definition applied under the Convention does not significantly differ from that applied under the Kyoto Protocol (NIR, p.781) so lands classified as forest or non-forest under the Convention have the same classification under the Kyoto Protocol. Accordingly, the total area reported as forest land under the Convention should be identical to that reported under the Kyoto Protocol (and vice versa). However, the ERT noted that in every inventory year the total area reported as forest land under the Convention does not match that reported under the Kyoto Protocol. For instance, for 2017, the total forest area reported under the Convention is 10,986.159 kha (forest land remaining forest land, 10,792.496 kha; land converted to forest land, 193.663 kha), while under the Kyoto Protocol the total is 10,965.449 kha (FM, 10,699.156 kha; AR, 266.293 kha). During the review, the Party did not provide any additional information. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Issue has been resolved.	2020	L.11, Table 5		see NIR 2022 chapter 6.1.2.1 and 6.1.2.3, 6.4.2.5.3

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
4.B.	The Party reported short-rotation plantations for wood production under cropland instead of forest land in CRF table 4.B and section 6.1.2.3.4.3 (pp.558–561) of the NIR. In that section, the Party also reported that biomass carbon stock changes in short-rotation plantations for wood production are only reported in the year of conversion of a land to a short-rotation plantation, and the biomass carbon stock net gain is estimated once, as an instantaneous accumulation in the year of conversion only. The ERT noted that this is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chap. 1, on land-use categories; chap. 2, on generic methodologies for estimating stock changes in carbon pools; chap. 4, on additional guidance to estimate carbon stock changes in forest land; and chap. 5, on additional guidance to estimate carbon stock changes in cropland) because short-rotation plantations produce wood rather than crops and meet the forest land definition of the 2006 IPCC Guidelines, as well as the thresholds of the German forest definition, so IPCC good practice for estimating forest biomass carbon stock changes applies even if this management system is reported by the Party under cropland. During the review, the Party clarified that lands with short-rotation plantations are considered to be agricultural areas (cropland) and that managing forest land as short-rotation plantations is prohibited by German forest codes and laws. Accordingly, short-rotation plantations are not included in the NFI. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Issue has been resolved.	2020	L.12, Table 5		see NIR 2022 chapter 6.1.2.1 and 6.1.2.3.4, 6.1.2.3.5.5
4.B.1.	The Party reported a ‘net zero’ biomass carbon stock change in cropland remaining cropland with perennial vegetation under the assumption of long-term equilibrium of such carbon stocks in its NIR (section 6.1.2.3, pp.546–563). The ERT noted that this is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chap. 5.2.1.1) because the default method is to multiply the area of perennial woody cropland by a net estimate of biomass accumulation from growth and subtract losses associated with harvesting, gathering or disturbance (according to equation 2.7). Losses are estimated by multiplying a carbon stock value by the area of cropland on which perennial woody crops are harvested. This implies that the IPCC tier 1 methodology assumes continuous accumulation of biomass in perennial crops until the final harvest occurs. During the review, the Party clarified that the rotation times of permanent crops are highly variable and depend on their species (between approximately 3 and 30 years, but usually fewer than 20). Therefore, the age structure of the permanent crops in the ‘remaining’ category is unknown, as is the stage of growth at which permanent crops change from the transitional to the remaining category. Consequently, the carbon stock is assumed to be in long-term equilibrium, and the age groups of the different cultures in the remaining category are assumed to be uniformly distributed over the long term. However, the ERT notes that national GHG inventories shall report emissions when those actually occur. The methodology applied by Germany, which is based on reporting net zero emissions (the consequence of assuming a constant carbon stock at its long-term equilibrium level), involves counting in any year an amount of future emissions or removals up to an amount that counterbalances the actual emissions and removals occurring in that year. Is finding an issue/problem?: Yes. Completeness	Issue has been resolved.	2020	L.13, Table 5		see NIR 2022 chapter 6.1.2.1

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
4.B.1. + 4.C.1.	The Party reported in its NIR (p.532) that "for mineral soils with no use or name change, in land-use categories 4.B, 4.C, it is assumed that the pertinent carbon inputs into the soil and carbon extractions from the soil are equal in size, so that the systems are in equilibrium". The increased use of organic fertilizers shown in NIR figure 62 is expected to have caused, across time, a permanent average increase in the soil organic carbon stock of German agricultural land. The ERT noted that assuming equilibrium in SOC in cropland remaining cropland and grassland remaining grassland without consideration of changes in cultural practices and their intensity is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chaps. 2, 5 and 6, and equation 2.25) because the IPCC default method differentiates SOC in mineral soils of cropland according to tillage intensity and amount of carbon input, including organic fertilizers, as well as by use type including set-aside, and of grassland according to carbon input and intensity of management. Thus, IPCC good practice requires the estimation of SOC changes associated with changes in those variables. During the review, the Party clarified that no official or representative data regarding the management of agricultural land were available to the inventory compilation team and, therefore, that no quantified comprehensive spatially explicit assessments of the effects of different management measures on SOC content in the cropland remaining cropland and grassland remaining grassland categories can be made yet. Further, the Party stated that the findings (as summarized in the NIR, section 6.5.2.3) of the permanent soil observation system, which examines agricultural areas that are cultivated according to the well-established methods of good agricultural practice, indicate that on average there have been no changes in the SOC of agricultural mineral soils over the last 25 years. Finally, the Party informed the ERT that it is working on a medium-term solution that will provide the capability to implement a new inventory methodology after 2025 by conducting a second nationwide inventory of agriculturally used soils (start: 2021); developing model ensembles, which will be validated by results from the first and second agricultural soil inventory; attempting to gain access to georeferenced agricultural management data for the inventory, in particular from the German Integrated Administration and Control System (which is a difficult process because of German privacy legislation and necessary negotiations with all 16 German federal states); and exploring options of deriving management information from remote sensing data (which would only cover the future and recent past). Acknowledging the future work on the subject as planned by the Party, the ERT notes that the country-specific methodology currently applied requires verification as per paragraph 41 of the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines. Is finding an issue/problem?: Yes. Convention reporting adherence	Issue has been resolved.	2020	L.14, Table 5		see NIR 2022 chapter 6.1.2.1, 6.5.2.2, 6.6.2.2
4.B.2. + 4.C.2.	The Party reported in its NIR (p.530) that biomass carbon stock changes for land-use changes are calculated under the assumption that the entire carbon stock change occurs in the year of the conversion. The ERT noted that this approach is not consistent with conversion to land with perennial biomass, as per good practice set out in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chaps. 2, 5 and 6, and equations 2.7 and 2.15), because perennial biomass accumulates over time, not just in the year of conversion. During the review, the Party confirmed that perennial biomass in non-forest land is assumed to accumulate once, in the year of conversion, and to be in long-term equilibrium thereafter. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Issue has been resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	L.15, Table 5		NIR 2022, chapters 6.1.2.1 und 6.1.2.3.4, 6.1.2.3.5.5, 6.5.2.3.2, and 11.3.1.1.1

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
5.B.2.	Germany reported AD as "NO" in the CRF table for this category (5.B). The ERT noted, however, that 677.0 t of livestock manure in 2018 and an estimated 2,373.0 t in 2020 were co-digested with biowaste at digestion plants (NIR, section 7.3.2.1, p.711). The emissions from the livestock component of the plant feedstock were appropriately reported under the agriculture sector in CRF table 3.B(a), column K (NIR 2018, sections 5.1.3.6.5 and 5.1.4) in order to avoid double counting. During the review, the ERT and the Party discussed the appropriate reporting of this category (5.B) with respect to footnote 4 to CRF table 3.B(a), and agreed that the AD should be reported in CRF table 5.B, column B, while the emissions should be reported as "IE" in order to improve the consistency of the NIR and the CRF tables and also to ensure the reporting is in accordance with footnote 4 to CRF table 3.B(a) (i.e. "This category should include all organic waste from sources not covered by municipal solid waste"). Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	The recommendation has been implemented. See CRF Table 5b	2020	W.10, Table 5		table 5b
KP	Germany included SRCs under cropland management activity, since, according to the forest definition provided in the German NFI, they are explicitly not forests and are not covered by German forest law. During the review, the Party clarified that no spatially explicit data for SRCs are available. The ERT notes that, according to the Kyoto Protocol Supplement, it is good practice to continuously follow the management of land subject to cropland management by tracking lands, or through statistical sampling techniques, ensuring that double counting with forest management is avoided. The ERT further notes that it is good practice to document how consistency is achieved with Kyoto Protocol activities ERT: Finding is an issue and/or a problem: Yes	Issue has been resolved. Description is given in the resp. chapter.	2015, 2016	KL.12, Table 5	KL.10+11, 2018; KL.5+6, Table 3, 2020;	NIR 2022, chapters 6.1.2.1 und 6.1.2.3.4, 6.1.2.3.5.5, 6.5.2.3.2, and 11.3.1.1.1 Fertilizers see 6.1.2.3.5.5 Footnote
KP	Germany reports the CSCs under cropland management as "NO" (see ID# L.6 above) ERT: Finding is an issue and/or a problem: Yes	Issue has been resolved.	2015, 2016	KL.13, Table 5	KL.12+13, 2018 ; KL.7+8, Table 3, 2020;	NIR 2022, chapter 6.1.2.1, 6.1.2.3.6, 6.6.1, 6.6.2.2, 11.3.1.1.1
KP-CM	The Party reported short-rotation plantations for wood production under cropland instead of forest land in CRF table 4.B and section 6.1.2.3.4.3 (pp.558–561) of the NIR. In that section, the Party also reported that biomass carbon stock changes in short-rotation plantations for wood production are only reported in the year of conversion of a land to a short-rotation plantation, and the biomass carbon stock net gain is estimated once, as an instantaneous accumulation in the year of conversion only. The ERT noted that this is not in accordance with the Kyoto Protocol Supplement (chap. 1), which requires reporting, and accounting, of annual emissions and removals associated with carbon stock changes in woody biomass, including emissions associated with the removal of tree cover below the forest threshold in land that – although it meets the forest definition – is reported under a non-forest Kyoto Protocol activity. However, the ERT also noted that such an exclusion will not impact the accounting if appropriate methods for estimating annual changes in woody biomass are applied. Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Issue has been resolved.	2020	KL.17, Table 5		NIR 2022, chapter 6.1.2.1, 6.1.2.3.4, 6.1.2.3.5.5, 11.3.1.1.1
KP-CM - GM	see ARR 2020 L.14 Is finding an issue/problem?: Yes. KP reporting adherence	Issue has been resolved.	2020	KL.19, Table 5		NIR 2022, chapter 6.1.2.1, 6.1.2.3, 6.5.2.2, 6.6.2.2, 11.3.1.1.1

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
KP-FM	The Party reported in NIR table 553 a projection of the biomass carbon stock changes for 2013–2020, as applied in the technical correction to its FMRL. For 2013, the biomass carbon pool is projected to be a net source of 7,396 kt CO2, while in CRF table 4.A, a net sink is reported of 45,044 kt CO2 for 2008, which is the latest year of the historical period to be used to project the FMRL. The difference between the two figures is 52,440 kt CO2. The ERT noted that Germany, in its FMRL submission, projected an increase in the harvest rate of approximately 24 per cent between 2008 and 2013, or approximately 19 million m3, which can explain no more than half of the projected decrease in the biomass sink (see document FCCC/TAR/2011/DEU). The ERT therefore concludes that the large difference of 52,440 kt CO2 in the annual net carbon stock change within such a short period (four years) is not justified by the modelling of future harvests or by the dynamic in the age–class distribution, given that ageing of forests is minimal within such a short period and, in any case, the increased projected harvest rate is expected to rejuvenate the forest estate. The Party did not provide information – neither in the NIR nor in the FMRL submission – to show that model-based calculations used for constructing a projected FMRL reproduce the data for FM or forest land remaining forest land for the historical period. The ERT noted that this is not in accordance with the good practice set out in the Kyoto Protocol Supplement (pp.2.97–2.98). During the review, the Party did not provide any additional information. Is finding an issue/problem?: Yes. KP reporting adherence	Issue has been resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	KL.13, Table 5		NIR 2022, chapter 11.5.3.4
KP-FM	The Party reported in NIR table 553 a projection of the biomass carbon stock changes for 2013–2020, as applied in the technical correction to its FMRL. For 2013–2018, the biomass carbon pool is projected to be a net source of 7,861 Gg CO2, while in CRF table 4(KP-I)B.1 for the same period, a net sink of –45,470 kt CO2 is reported. The ERT noted that the increase in the harvesting rate between the historical period (2000–2008) and the projected period (2013–2020) is approximately 30 per cent or 23 million m3 (see tables 8–9 of the FMRL submission (available at https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf/forest-management-reference-levels), so the projected harvest increase cannot alone justify the projected decrease of 53 Mt CO2 in the forest sink. The ERT also noted that the NIR does not provide information on the main factors generating the accounted quantity (i.e. the difference in net emissions between reporting of FM during the second commitment period and the FMRL); in particular, the NIR does not provide evidence that the lower sink during the second commitment period, as compared with what was assumed in the 'business as usual' scenario, is quantitatively consistent with the observed higher harvest rate, and/or evidence that other major factors are contributing to the difference. This is not in accordance with the good practice set out in the Kyoto Protocol Supplement (p.2.97). During the review, the Party did not provide any additional information. Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Issue has been resolved.	2020	KL.14, Table 5		NIR 2022, chapter 11.5.3.3
KP-FM	see ARR 2020 L.11 Is finding an issue/problem?: Yes. Completeness	Issue has been resolved.	2020	KL.15, Table 5		NIR 2022, chapter 6.1.2.1, 6.1.2.3, 6.4.2.5.3

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in …
KP-LULUCF	The Party reported that no indirect or natural GHG emissions sources or sinks were included in the reported estimates of carbon stock changes (NIR, section 11.3.1.3, p.799), although carbon stock changes measured by a comparison of consecutive NFIs do account for any direct and indirect human-induced as well as natural effects. The ERT noted that the reporting is not in accordance with the Kyoto Protocol Supplement because section 11.3.1.3 of the NIR does not provide information on whether indirect and natural GHG emissions and removals have been factored out. The Kyoto Protocol Supplement (section 2.3.7) states that for the purpose of accounting under the Kyoto Protocol, 'factoring out' in the accounting of KP-LULUCF has been addressed through a 'net-net' approach, where the net change in GHG emissions and removals is accounted for by comparing GHG emissions and removals during the commitment period with a benchmark under either a base year or a 'business as usual' scenario, which could also be a scenario in which emissions and removals are assumed to sum to zero. During the review, the Party did not provide any additional information. Is finding an issue/problem?: Yes. KP reporting adherence	Issue has been resolved.	2020	KL.9, Table 5		NIR 2022, chapter 11.3.1.3
KP-LULUCF	see ARR 2020 L.10 and L.12 Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Issue has been resolved.	2020	KL.11, Table 5		NIR 2022, chapter 6.1.2.3.1, 6.1.2.3.2, 6.1.2.3.8, 6.1.2.4, 6.4.2.5.2, 11.3.1

Alle Maßnahmen zielen auf volle Konsistenz mit den UNFCCC-Berichtsguidelines und den IPCC-Guidelines ab und sollen Adjustments unter dem Kyoto-Protokoll verhindern.

In der folgenden Tabelle werden die in den Quellgruppen-Kapiteln gemachten Aussagen der Inventarberichte (seit 2011) zu den geplanten Verbesserungen zusammengefasst. Sie werden ergänzt um Informationen zum daraus abgeleiteten Handlungsbedarf, dem avisierten Termin zur Umsetzung der Maßnahme (Deadline) und dem aktuellen Bearbeitungsstand.

Tabelle 476: Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in …	Year of reporting	Reference NIR-chapter
1.	As noted at the beginning of this chapter, it was not possible to complete the planned countryspecific calculation approach. This important step will be completed in connection with the 2021 submission.	The country-specific calculation approach is to be finalized and adopted for the inventory.	[2022]	overdue	The announced development of a country-specific calculation approach is delayed.	2020	19.1.5	1.
1.A.3.d	With regard to inland waterway transport, in cooperation with the responsible modellers (ifeu) and national experts (ZKR: Zentralkommission für die Rheinschifffahrt / CCNR: Central Commission for the Navigation of the Rhine), ways are sought for the exact separate collection of national and international vessels.	National and international ships are to be recorded exactly and separately. The procedure should be developed with ifeu and the ZKR and documented in the NIR and the IB. If needed, the inventory has to be updated.	[2020]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2017	3.2.10.4.6	1.A.3.d
1.B.2	Several measurement campaigns are currently underway in Germany to determine emission factors for natural gas transmission and distribution pipelines. It is planned to include the findings from the measurement programs in the inventory after completion.	The results from the measurement campaigns are to be included in the inventory.	[2023]	open	Ongoing	2021	3.3.2.6	1.B.2
2.B.7.	Improvements in data quality are planned with the targeted manufacturer agreements, although it is not yet known whether there may be significant impacts on emission levels.	After the manufacturer agreements have been concluded, it must be checked whether they have an impact on emissions. If necessary, the inventory must be revised accordingly.	[2023]	open	Ongoing	2022	4.3.7.6	2.B.7.
2.D.3.(b)	Relevant findings currently available from a research project are to be used for specific evaluation of emission factors.	The emission factors need to be evaluated on the basis of the existing project report.	[2012]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2012	4.2.6.6	2.D.3.(b)
2.H.2.	Based on an ongoing project, emission factors shall be updated.	Based on the results of the recently launched project, the emission factors used so far need to be updated.	[2023]	open	Ongoing	2021	4.9.2.6	2.H.2.

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in …	Year of reporting	Reference NIR-chapter
4.	The regionalization of mineral soil carbon stocks planned for this submission, depending on site-specific parameters, could not yet be implemented for technical reasons; the setup is planned in the short term. Germany will thus implement the corresponding recommendation of the ERT from the 2020 review process.	Data quality objective: see review-recommendation ARR 2020 L.8, Table 5	[2023]	open	Ongoing	2022	6.1.2.1.9	4.
4.	The introduction of regionalized emission factors for mineral soils, depending on site-specific parameters, and their computer-based implementation is planned; implementation is targeted in the short term.	Data quality objective: see review-recommendation ARR 2020 L.8, Table 5	[2023]	open	Ongoing	2022	6.1.4	4.
4.B.	The regionalization of carbon stocks of mineral soils under agricultural land, depending on site-specific parameters, is in progress and will be implemented in the short term. Germany will thus implement the corresponding recommendation of the ERT from the 2020 review process	Data quality objective: see review-recommendation ARR 2020 L.8, Table 5	[2023]	open	Ongoing	2022	6.5.6	4.B.
4.C.	The regionalization of carbon stocks of mineral soils under grassland, depending on site-specific parameters, is in progress and will be implemented in the short term. Germany will thus implement the corresponding recommendation of the ERT from the 2020 review process	Data quality objective: see review-recommendation ARR 2020 L.8, Table 5	[2023]	open	Ongoing	2022	6.6.6	4.C.
4.D.	The regionalization of carbon stocks of mineral soils of terrestrial wetlands, depending on site-specific parameters, is in progress and will be implemented in the short term. Germany will thus implement the corresponding recommendation of the ERT from the 2020 review process	Data quality objective: see review-recommendation ARR 2020 L.8, Table 5	[2023]	open	Ongoing	2022	6.7.6	4.D.
4.E.	The regionalization of mineral soil carbon stocks of settlement areas, depending on site-specific parameters, is in progress and will be implemented with the next submissions. Germany will thus implement the corresponding recommendation of the ERT from the 2020 review process	Data quality objective: see review-recommendation ARR 2020 L.8, Table 5	[2023]	open	Ongoing	2022	6.8.6	4.E.

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in …	Year of reporting	Reference NIR-chapter
5.A.1.	In an international comparison, collection rates of landfill gas, at about 20 %, seem very low. They also seem low in that nearly all German landfills have gas-collection facilities and that the technical characteristics of German landfills would seem to provide a comparatively good basis for high collection rates. This apparent contradiction will need to be cleared up for future reports.	The causes for the high differences between statistical data and estimated amount of landfill gas shall be determined.	[2018]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2013	8.2.1.6	5.A.1.
5.A.1.	For some years now, there has been increasing evidence in Germany that the formation of landfill gas calculated according to the FOD model of the IPPC and the resulting methane emissions are considerably overestimated compared to the real behaviour of landfills. The Federal Environment Agency has therefore commissioned two research projects to investigate this issue and to determine national values for half-lives, k-values and DOCf-values.	After completion of the current SV project (for the textual and mathematical incorporation of the results from two previously finished Research projects into the NIR), the results are to be transferred to the NIR and the inventory revised.	[2020]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2019	7.2.1.6	5.A.1.
5.A.1.	For some years now, there have been growing indications in Germany that the IPCC's FÖD model for calculating landfill-gas formation, and the resulting methane emissions, produces significant overestimations with regard to actual landfill behaviour. To address this situation, the Federal Environment Agency has commissioned two research projects aimed at producing national values for the applicable half-lives, k values and DÖCf values.	Two research projects were completed to update the landfill gas formation and resulting methane emissions, calculated using the IPPC's FOD model. As a result, the currently calculated emissions are significantly overestimated compared to real landfill behavior. The values for half-lives, k-values, and DOCf-values, currently used in the FOD model, are to be adjusted accordingly.	[2022]	overdue	The draft results reports are currently coordinated between the Ministry for Environment (BMU) and the Federal Environment Agency (UBA) for official acceptance and publication, the implementation of the results can only take place afterwards.	2020	7.2.1.6	5.A.1.
5.D.1.	In the area of wastewater treatment, only CH_4 emissions from open cesspools and N2O emissions from aeration tanks and from effluent are currently being reported. Other possible treatment steps that could be emissions-relevant – such as sludge treatment – are not reported, since the 2006 IPCC Guidelines do not cover them and since no pertinent data are available to date.	The inventory needs to be adjusted in keeping with the results of the R&D project on "fugitive emissions."	[2020]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2016	7.5.1.1.1	5.D.1.

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in …	Year of reporting	Reference NIR-chapter
5.D.1.	In a national research project, measurements were carried out for methane and nitrous oxide. Emission factors are to be derived for the municipal wastewater treatment sector on the basis of these measurements. The project has not yet been completed. This is due to delays in the technical evaluation of the project as a result of the pandemic situation and a change of tasks as a result of restructuring in the relevant specialist unit. A final evaluation of the results can only be made after the project has been completed.	If the internal evaluation of the results of the FE project on "fugitive emissions" allows it, the inventory shall be adjusted accordingly.	[2023]	open	Ongoing	2022	7.5.1.1.6 + 7.5.1.3.6	5.D.1.

10.4.2 KP & LULUCF

Die für das Konventionsinventar beschriebenen Verbesserungen für den Sektor LULUCF im Kapitel 10.4.1 sind auch für das KP-LULUCF-Inventar anzuwenden.

10.4.3 Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments

Tabelle 477: Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments, Article 9.1

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
0.	The ERT recommends that the Party annually review, and if necessary, update the information in the NIR with respect to the calculation of the commitment period reserve, ensuring that it is calculated based on the most recent information	Germany is continuing to work on that issue.	2015, 2016	G.5, Table 5
0.	The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party still uses “IE” to report indirect CO2 emissions from the energy and IPPU sectors, which is not in line with paragraph 29 of the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines. ARR 2018: The ERT recommends that Germany use the notation key “NE” to report indirect CO2 and N2O emissions from the energy, IPPU and waste sectors in CRF table 6, as well as for indirect CO2 emissions from the LULUCF sector, if appropriate. Noting that the Party reports indirect N2O emissions from leaching and run-off under the LULUCF sector in CRF table 4(IV), the ERT recommends that Germany use the notation keys “NE” and “IE” to report indirect N2O emissions from the LULUCF sector in CRF table 6.	Issue has been resolved: CRF-table 6 and chapter 9 of the NIR have been revised according to review recommendation	2018	G.11, Table 6
0.	The ERT encourages Germany to follow tables 4.2–4.3 of the 2006 IPCC Guidelines (vol. 1) for reporting the key category analysis in the NIR.	the mistakes were corrected.	2020	G.9, Table 5
0.	The ERT recommends that Germany improve its QC procedures to ensure that all category-specific issues that are identified as issues that need potential further improvement are included in the table for planned improvements of the inventory (NIR table 510 in the 2020 submission).	Resolved by development of a new Checklist for the QSE-Coordinator to enshure that all the needs for category-specific improvements are included in the inventory plan.	2020	G.10, Table 5
1.A.	The ERT recommends that Germany include in its NIR the main assumptions used to establish the provisional energy balance.	Germany is continuing to work on that issue.	2018	E.7, Table 5
1.A.3.b.	The ERT encourages that Germany improve the transparency of future NIRs by including an explanation of the adjustment made to the CO2 EF for gasoline, which resulted in a CO2 EF that is higher than the IPCC default value and among the highest IEFs reported by Parties for all categories in which gasoline is used.	ongoing	2020	E.5, Table 5
1.AD	The ERT recommends that Germany, when completing CRF table 1.A(d) in future submissions, report estimates of emissions from non-energy uses of fuels and/or use the appropriate notation keys in line with paragraph 37 of the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines (e.g. “NA” instead of “NE” when no emissions are expected from the non-energy use of a fuel).	Germany is continuing to work on that issue.	2020	E.4, Table 5

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
1.D.1.a.	ARR 2020: The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party, given the national circumstances described in the NIR, did not report “NO” for CO2 captured for domestic storage and for storage in other countries in CRF table 1s2. The ERT recommends that Germany complete the blank cell for CO2 captured for domestic storage and for storage in other countries using the appropriate notation key	Issue has been resolved, by adding the aproprlate notation key	2015, 2016	E.18, Table 5
2.A.1.	ARR 2020: The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party did not include this information in the NIR. The ERT recommends that Germany include in its NIR a description of the methodology used for estimating bypass dust, and that the bypass dust estimate of the German Cement Works Association be used in the future, if deemed suitable by the Party, rather than the default EF of the IPCC for bypass dust.	Description has been improved.	2018	I.10, Table 5
2.A.4.b.	The ERT recommends that Germany either verify the decreasing emission trend and large inter-annual variation in emissions for 2016–2018 for subcategory 2.A.4.b (other uses of soda ash) and justify it in the NIR or recalculate the reported emissions to ensure time-series consistency.	Even though waiting until the last possible moment, we do not have the necessary data to restructure the entire soda calculation. Thus, an update was made according to the previous method.	2020	I.16, Table 5
2.B.2.	The ERT recommends that Germany include in its NIR the type of technology used to control emissions at nitric acid plants.	Resolved: The follwing information "During the review, the Party clarified that selective catalytic reduction technology is used to reduce N2O and NH3 emissions, and that one plant has two selective catalytic reductions in a row." is added in the NIR.	2018	I.16, Table 6
2.B.3.	ARR 2020: The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party did not include this information in the correct NIR section on time-series consistency (section 4.3.3.3). The ERT recommends that, for the third plant, which started operation in 2002 but began conducting measurements only in 2013, Germany report on how the N2O emissions were estimated for the period 2002–2012. The ERT further recommends that Germany report on how time-series consistency was ensured, given the use of different methods in the time series	Resolved	2015, 2016	I.9, Table 5
2.C.2	The ERT recommends that Germany include in future NIRs information on the source of AD for 1990–1994 used to estimate CO2 emissions from ferroalloys production.	Resolved	2020	I.17, Table 5
2.C.3.a.	ARR 2020: The ERT considers that the recommendation has not yet been fully addressed because the Party did not include the information on the validation of the EF used from 2009 in the NIR. The ERT recommends that Germany include in the NIR the explanation that the aluminium plant was redesigned, resulting in a reduction in the SF6 EF for secondary aluminium. The ERT also recommends that the Party explain in detail how the change in the EF was justified, whether by confidential measurement results and/or by a measurement protocol, and that the measurement protocol was checked and verified by a third party.	Germany is continuing to work on that issue.	2018	I.20, Table 6
2.D.1.(a)	The ERT recommends that Germany correct in the next submission the error in CO2 and NMVOC emissions from stationary lubricant use for 2011 in CRF table 2(I)s2.	Resolved	2020	I.18, Table 5

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
2.D.2	The ERT recommends that Germany include an explanation of the AD used for category 2.D.2 (paraffin wax use) in CRF table 2(I).A-Hs2 (e.g. in the documentation box) to prevent misinterpretation of the reported IEF.	Resolved	2020	I.19, Table 5
2.E.3	The ERT recommends that Germany update CRF table 2(II).B-Hs1 such that the appropriate notation key is reported for all years where SF6 emissions from photovoltaics are not occurring (i.e. 1990–2002 and 2014 onward).	The value was replaced by the notation key.	2020	I.20, Table 5
2.G.3	The ERT recommends that Germany correct in future submissions the error that arose from manual data entry by reporting N2O emissions from anaesthetic use, explosives, semiconductor production, and propellant for pressure and aerosol products rather than reporting these emissions as “C” (confidential) for 1990–2002.	The missing N2O emissions were added´.	2020	I.21, Table 5
3.	The ERT recommends that Germany improve the information on the AD trends by including in the NIR an explanation of how German reunification, which led to structural changes in the country, has impacted the population of dairy cattle (a decrease of 11.4 per cent from 1990 to 1991) and swine (a decrease of 16.3 per cent from 1990 to 1991) and the associated enteric fermentation emissions at the beginning of the reporting period.	Issue has been resolved.	2020	A.6, Table 5
3.A.1.	ARR 2020: The ERT considers that the recommendation has not yet been addressed because the Party did not include in the NIR the performance indicators (e.g. weight, weight gain, milk yield) used by KTBL (2006) to estimate the metabolizable energy value (dry matter intake) or the reason this information was not reported. The Party also did not explain in the NIR how the changes in energy required for activity at pasture contribute to the values of metabolizable energy and dry matter intake of suckling cows. The ERT recommends that Germany improve the transparency of its reporting by including in its NIR, or in a supplementary publication referenced in the NIR (such as Haenel et al. (2018)), more information on the performance indicators (e.g. weight, weight gain, milk yield) used to calculate ME (MJ per animal per year) and DMI (kg dry matter per animal per year) of suckling cows, and explaining how the changes in energy required for activity at pasture contribute to the values of ME and DMI of suckling cows.	Issue has been resolved.	2018	A.11, Table 6
3.A.1.	ARR 2020: During the review, the Party clarified that the model used for estimating energy requirements would be updated for the 2021 submission to include all individual energy contributions, including grazing. Germany also stated that a detailed description of the improved model would be provided in the 2021 update of Haenel et al. (2020). The ERT recommends that Germany improve the transparency of its reporting by including in its NIR, or in a supplementary publication referenced in the NIR (such as Haenel et al. (2018)), an updated explanation of categories of energies taken into consideration in the estimates of ME, including time spent on pasture.	Issue has been resolved.	2018	A.12, Table 6
3.B.3.	The ERT recommends that Germany report free range pigs as “IE” in CRF table 3.B(b) in accordance with the UNFCCC Annex I inventory reporting guidelines, and clarify in its NIR that free range pigs are not excluded from the inventory but that their numbers are captured under other management systems.	Issue has been resolved.	2020	A.7, Table 5

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
3.D.a.2.c + 3.D.b	The ERT recommends that Germany increase the transparency of its reporting by providing detailed information in the next NIR or in supplementary material on how direct and indirect N2O emissions resulting from the application of biowaste onto managed soils are included in the country-specific N2O EF used by the Party and how this EF compares with the default EFs from the 2006 IPCC Guidelines (vol. 3, chap. 11). The ERT also recommends that the Party remove the statement “they can be neglected, since the nitrogen they include is organically bound and mineralizes very slowly” from the NIR (p.709) Die Anforderungen sind über den HB 6593 ebenfalls für 5.B. adressiert. Die gemeinsame Abarbeitung ist zu beachten..	Detailed information on the composition of the used EFs for N2O, regarding treatment, application and minerlisation have been added to the NIR, including a comparison with the default factor from IPCC. Addiotionally the questioned statement has been deleted and the sentence adjusted accordingly.	2020	A.8, Table 5
4(V)	The ERT recommends that Germany use available data on DOM stocks to include them as fuel when calculating CH4 and N2O emissions from biomass burning.	Germany is continuing to work on that issue.	2020	L.16, Table 5
4.	The ERT recommends that Germany ensure that the new reporting system is capable of detecting and reporting SOC changes associated with changes in the use and management of land with different soil types and climate conditions at a minimum. Until the new reporting system is fully implemented, the ERT recommends that the Party apply a method consistent with good practice, as defined by the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, section 2.3.3.1), for estimating SOC changes. For instance, a set of SOCREF values stratified by climate zone and soil type using SOC measurements taken in forest land, and grassland under natural conditions, if any, could be calculated. Thus, if the SOCREF values calculated are within the uncertainty range of the IPCC default values, the IPCC default stock change factors could be applied. Then, the SOC for each combination of land use and management system, as stratified by climate and soil type, could be calculated and formulation B of equation 2.25 from the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, box 2.1) could be applied to estimate the annual net SOC change associated with each change in the use and/or management of land.	Germany is continuing to work on that issue.	2020	L.8, Table 5
4.	Missing categories that may affect completeness: The categories for which estimation methods are included in the 2006 IPCC Guidelines that were reported as “NE” or for which the ERT otherwise determined that there may be an issue with the completeness of the reporting in the Party’s inventory are the following: (a) 4.B.1 cropland remaining cropland – perennial biomass (CO2) (see ID# L.13 in table 5) **--> erledigt**; (b) 4(V) biomass burning – DOM stocks (CH4 and N2O) (see ID# L.16 in table 5; --> **offen**; (c) FM (CO2 and N2O) (see ID# KL.15 in table 5) --> **erledigt**; (d) CM (CO2) (see ID# KL.18 in table 5) --> **begonnen**.	Not completely resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	Annex III
4.	The ERT **encourages** Germany to use the Wetlands Supplement in preparing its annual inventory for CO2 off-site emissions in drained organic soils for future annual submissions.	Issue has been resolved.	2020	L.7, Table 5
4.A .	The ERT recommends that Germany reconcile in each year the total carbon stock change reported under the Convention and under the Kyoto Protocol for each of the biomass and DOM carbon pools. The ERT further recommends that the Party reconcile the total carbon stock change reported for biomass and DOM in any period between two subsequent NFIs with the total carbon stock change calculated across the period as the difference between the total carbon stock of the two subsequent NFIs.	Issue has been resolved.	2020	L.10, Table 5

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
4.A .	The ERT recommends that Germany reconcile in each year the total carbon stock change reported under the Convention and under the Kyoto Protocol for each of the biomass and DOM carbon pools. The ERT further recommends that the Party reconcile the total carbon stock change reported for biomass and DOM in any period between two subsequent NFIs with the total carbon stock change calculated across the period as the difference between the total carbon stock of the two subsequent NFIs.	Issue has been resolved.	2020	L.11, Table 5
4.A .	The ERT recommends that Germany report complete information, including, where practicable, a flow chart that clearly presents in a visual format all steps and data used in the calculation of the SOC change, in order to demonstrate that the calculated SOC change is not biased by changes in forest area over time.	ongoing	2020	L.9, Table 5
4.B.	The ERT recommends that Germany apply good practice, as set out in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4., chaps. 2 and 5), for estimating changes in forest biomass carbon stocks in order to estimate annual emissions and removals associated with biomass carbon stock changes in short-rotation plantations.	Issue has been resolved.	2020	L.12, Table 5
4.B.1.	The ERT recommends that Germany report annual estimates of net carbon stock changes of perennial biomass by applying the tier 1 method from the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chap. 5.2.1.1) or any other method that is consistent with good practice, including approaches developed by other European Union member States (the ERT notes that the limited availability of relevant data experienced by Germany is also experienced by other European countries).	Issue has been resolved.	2020	L.13, Table 5
4.B.1. + 4.C.1.	The ERT recommends that Germany provide verification of reported estimates by applying the default methodology in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chaps. 2, 5 and 6, and equation 2.25) to estimate SOC changes in cropland remaining cropland and grassland remaining grassland associated with changes in land management.	Issue has been resolved.	2020	L.14, Table 5
4.B.2. + 4.C.2.	The ERT recommends that Germany report annual net carbon stock accumulation over time for perennial biomass in land converted to a cropland or grassland subcategory that has vegetation with perennial biomass by applying equation 2.7 or 2.15 from the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4) or any other method that is consistent with good practice.	Issue has been resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	L.15, Table 5

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
5.A.1.	ARR 2020: Germany indicated during the review that the results of the ongoing research projects to determine country-specific k-values were not available in time to implement them in the 2020 annual submission (NIR, section 7.2.1.6, p.707). While the latest results of the research have been published, they can only be incorporated into the emission inventory report after clarification of review questions with the contractors, QA through peer review and public validation by national experts. These processes are planned for completion in 2020. The Party expects the results from the research projects to be applied in the 2021 submission. The ERT recommends that Germany update the k-values used in the emission estimation as soon as the data from the research projects that will determine national k-values are available. If the results are not available in time for the 2019 annual submission, the ERT recommends that the Party include the status of these projects in the NIR, including a timeline for the implementation of their results in the inventory.	Germany is continuing to work on that issue. The k-Values will be updated when the research projects are finished - probably with emission reporting 2021.	2018	W.11, Table 6
5.B.2.	The ERT recommends that Germany report in future submissions the amount of livestock manure co-digested anaerobically with biowaste at biogas facilities (i.e. the AD) in CRF table 5.B, column B, and report the associated CH4 and N2O emissions in CRF table 5.B as “IE” while indicating in the documentation box to that table that they are reported under the agriculture sector in CRF table 3.B(a) to avoid double counting.	The recommendation has been implemented. See CRF Table 5b	2020	W.10, Table 5
5.D.1.	The ERT recommends that Germany implement the results of the study that will produce better documented EFs as soon as the data are available. If the results are not available in time for the 2019 submission, the ERT recommends that the Party include the status of this study in the NIR, including a timeline for the implementation of its results in the inventory.	Germany is continuing to work on that issue. The research project is not finished and plausibility checks are still in progress.	2018	W.14, Table 6
5.D.1.	The ERT recommends that Germany investigate whether it is reasonable to assume the same MCF for human sewage as for animal manure, noting that there are significant differences between swine and cattle slurry and that the retention time might be different between a septic tank and a slurry tank. Depending on the results of this investigation, the ERT recommends that Germany either assess whether it would be better to use the appropriate MCF values reported in table 10.17 of the 2006 IPCC Guidelines (volume 4) rather than the data that were used in the Revised 1996 IPCC Guidelines or if animal manure is not found to be representative for human sewage, to use the IPCC default MCF.	Rationale for chosing the MCF has been thoroughly explained and verified. Note: The recommendation has already been implemented with the 2021 NIR, but is reattached here to allow consistency in tracking the processing of ARR 2020 results.	2018	W.15, Table 6
KP	The ERT recommends that Germany stratify the cropland management estimates, taking into account the SRCs, on the basis of the methodology provided in the Kyoto Protocol Supplement. The ERT further recommends that the Party include in the NIR detailed information on SRCs, including information on the fertilization occurring in the SRCs and HWP originating from the SRCs, to increase transparency	Issue has been resolved. Description is given in the resp. chapter.	2015, 2016	KL.12, Table 5

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	**Review recommendation**	**Review report / paragraph**	**MS response / status of implementation**	**Chapter/section in the NIR**
KP	The ERT recommends that Germany estimate and report the CSCs for woody biomass in accordance with the 2006 IPCC Guidelines and the Kyoto Protocol Supplement, taking into consideration the biomass accumulation from growth and the losses associated with harvest, gathering or disturbance. The ERT further recommends that Germany improve the transparency of its reporting by including in the NIR transparent and verifiable information to demonstrate that the cropland management soil pool is not a net source	Issue has been resolved.	2015, 2016	KL.13, Table 5
KP-CM	The ERT recommends that Germany apply good practice, as set out in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chaps. 2 and 5), and the Kyoto Protocol Supplement (as quoted above in chap. 1), for estimating changes in forest biomass carbon stocks in order to estimate annual emissions and removals associated with biomass carbon stock changes in short-rotation plantations.	Issue has been resolved.	2020	KL.17, Table 5
KP-CM	The ERT recommends that Germany consider the issues listed in ID#s L.9 ;, L.10; and L.12 ; under the LULUCF sector (CM) above as also being relevant to KP-LULUCF activities.	Not completely resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	KL.18, Table 5
KP-CM - GM	The ERT recommends that Germany consider the issue listed in ID# L.14 under the LULUCF sector (CM and GM) above as also being relevant to KP-LULUCF activities.	Issue has been resolved.	2020	KL.19, Table 5
KP-Deforestation	The ERT, taking into consideration the inconsistencies in carbon stock change estimates reported under the Convention and under the Kyoto Protocol, as noted in ID#s L.10 and L.11 above, **encourages** Germany to report annual carbon stock change estimates for each carbon pool in the information item of CRF table 4(KP-I)A.2.	ongoing	2020	KL.12, Table 5
KP-FM	The ERT recommends that Germany provide in future submissions information demonstrating that model-based calculations reproduce the data for FM or forest land remaining forest land for the historical period reported in the inventory.	Issue has been resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	KL.13, Table 5
KP-FM	The ERT recommends that Germany provide in its next submission information on the main factors generating the accounted quantity under FM (i.e. the difference in net emissions between reporting of FM during the second commitment period and the FMRL) and on the difference between the projected harvest rate and the actual harvest rate.	Issue has been resolved.	2020	KL.14, Table 5
KP-FM	The ERT recommends that Germany consider the issue listed in ID# L.11 under the LULUCF sector (FM) above as also being relevant to KP-LULUCF activities.	Issue has been resolved.	2020	KL.15, Table 5
KP-FM	The ERT recommends that Germany consider the issue listed in ID# L.9 under the LULUCF sector (FM) above as also being relevant to KP-LULUCF activities.	Germany is continuing to work on that issue.	2020	KL.16, Table 5
KP-LULUCF	The ERT recommends that Germany update the information reported in the NIR on 'factoring out' in accounting for KP-LULUCF by applying guidance provided in section 2.3.7 of the Kyoto Protocol Supplement.	Issue has been resolved.	2020	KL.9, Table 5
KP-LULUCF	The ERT recommends that Germany consider the issue listed in ID# L.8 under the LULUCF sector above as also being relevant to KP-LULUCF activities.	Germany is continuing to work on that issue.	2020	KL.10, Table 5
KP-LULUCF	The ERT recommends that Germany consider the issues listed in ID#s L.10 and L.11 under the LULUCF sector above as also being relevant for AR, deforestation and FM.	Issue has been resolved.	2020	KL.11, Table 5

11 Ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

11.1 Allgemeine Informationen

11.1.1 Walddefinition und andere Kriterien

Die wesentliche Datenquelle, die zur Ermittlung von Emissionen im Waldbereich verwendet wurde, ist die Bundeswaldinventur. Deren Walddefinition ist unter anderem Grundlage für die Berichterstattung und wird in Kapitel 6.2.1 beschrieben.

Entsprechend dem deutschen Eröffnungsbericht des Kyoto-Protokolls (UNFCCC, 2007) hat Deutschland für die Walddefinition folgende spezifische Parameter festgesetzt:

Tabelle 478: Walddefinition in Deutschland

Parameter	Spannbreite (range)	Gewählter Wert (selected value)
Mindestflächengröße (minimum area of land)	0,05 – 1,00 ha	0,1 ha
Mindestüberschirmungsgrad (tree crown cover or equivalent stocking level)	10 – 30 %	10 %
Potenzielle Baumhöhe (potential tree height at maturity)	2 – 5 m	5 m

Innerhalb der in den Marrakesh Accords gesetzten Grenzen (s.o. range) kommen diese Werte der in der Bundeswaldinventur verwendeten Definition am nächsten. Untersuchungen haben gezeigt, dass der Vergleich zwischen Berechnungen der Aktivitätsdaten nach den oben aufgeführten Werten zu vernachlässigbaren Unterschieden führt (Tomter et al. (2010).

Nach dem Kyoto Protokoll (UNFCCC, 1998a) werden Flächen den Aktivitäten Aufforstung und Entwaldung zugeordnet, wenn sie seit 1990 aufgeforstet bzw. entwaldet wurden. Diese Flächen bleiben bis zum Ende der Verpflichtungsperiode in diesen Kategorien. Kurzumtriebsplantagen werden unter der Treibhausgasberichterstattung unter Ackerland berichtet.

In Deutschland gibt es keinen Wirtschaftswald (Forest Plantations), der zu einer anderen Landnutzungkategorie (Nichtwald) und unter Forest Managament (KP 3.4) angerechnet wird. Alle Aufforstungen und Entwaldungen werden unter KP 3.3 berichtet. Damit trifft die in Decision 2/CMP.7, annex, paragraphs 37–39 dargestellte Bewirtschaftungsform in Deutschland nicht zu.

In Deutschland gilt das Wiederaufforstungsgebot (vgl. § 11 (1) S. 2 BWaldG (2015)), wonach kahlgeschlagene Waldflächen oder verlichtete Waldbestände wieder aufzuforsten oder zu ergänzen sind. Flächen, die seit 1990 aufgeforstet wurden und aufgrund von Naturkatastrophen kurzzeitig keine Bestockung aufweisen fallen also weiterhin unter die Walddefinition und müssen wiederaufgeforstet werden. Entwaldung durch Naturkatastrophen gibt es in Deutschland nicht.

11.1.2 Gewählte Aktivitäten unter Artikel 3, Absatz 4 des Kyoto-Protokolls

Deutschland muss in der zweiten Verpflichtungsperiode die Aktivität *Forest Management (FM)* nach Artikel 3, Absatz 4 des Kyotos-Protokolls anrechnen. Des Weiteren berichtet Deutschland die Emissionen aus Holzprodukten. Die Option *natürliche Störungen* hat Deutschland nicht gewählt.

Deutschland hat die folgenden freiwilligen Aktivitäten unter Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls gewählt:

- Ackerlandbewirtschaftung (Cropland management, CM)
- Weidelandbewirtschaftung (Grazing land management, GM).

Deutschland wählt die Abrechnung am Ende der zweiten Verpflichtungsperiode.

11.1.3 Beschreibung wie die Definitionen aller Aktivitäten nach Artikel 3.3 und aller gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 umgesetzt und im Zeitverlauf konstant angewandt wurden

11.1.3.1 Neu- und Wiederaufforstung und Entwaldung (ARD)

Die Definitionen von Neu- und Wiederaufforstung sowie Entwaldung werden entsprechend der Marrakesh Accords verwendet. Danach wird Aufforstung definiert als „die direkte vom Mensch induzierte Umwandlung von Flächen, die für einen Zeitraum von mindestens 50 Jahren nicht bewaldet waren, zu bewaldeten Flächen durch Pflanzung, Aussaat und / oder vom Mensch induzierte Förderung der natürlichen Bestockung (Sukzession)[147]." Die Wiederaufforstung unterscheidet sich von der Neuaufforstung lediglich durch den Zeitpunkt der letzten Bewaldung, da die Flächen, die nach IPCC als neuaufgeforstet anzusehen sind, seit dem 31.12.1989 nicht bewaldet waren[148]. Da der Zeitpunkt der Berichterstattung für Deutschland mit dem Basisjahr 1990 beginnt und eine ausreichende Datengrundlage zur Abgrenzung der Landnutzungsformen erst ab 1970 vorhanden ist, werden hier Neu- und Wiederaufforstung zusammengefasst betrachtet (im Folgenden als Aufforstung bezeichnet). Darunter wird die Ansiedlung von Bäumen auf aufgelassenem bewirtschaftetem Land verstanden, insofern die Verjüngung in ausreichendem Maße vorhanden ist, um Wald gemäß der nationalen Walddefinition werden zu können. Der Zeitpunkt der Neuaufforstung ist im Allgemeinen der Punkt, an dem die erste Aktivität des Regenerationsprozesses durchgeführt wurde. Im Fall einer spontanen Regeneration von Bäumen ist der Zeitpunkt der Aufforstung der, ab dem die nationalen Bedingungen zur Erfüllung der Walddefinition eingetreten sind, also wenn die Bewaldung ein durchschnittliches Alter von fünf Jahren erreicht hat und mindestens 50 % der Fläche bestockt sind (vgl. Kapitel 6.2.1).

Die Kategorie Aufforstung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

147 Original "Afforestation is the direct human-induced conversion of land that has not been forested for a period of at least 50 years to forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources . (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

148 Original: "Reforestation" is the direct human-induced conversion of non-forested land to forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources, on land that was forested but that has been converted to non-forested land. For the first commitment period, Reforestation activities will be limited to Reforestation occurring on those lands that did not contain forest on 31 December 1989. (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

Tabelle 479: Aufforstung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC	
Aufforstung nach Art. 3.3 KP	4.A.2.1 Ackerland/ Sonderkultur zu Wald	4.A.2.1.1 $Acker_{annuell}$ zu Wald
		4.A.2.1.2 Hopfen zu Wald
		4.A.2.1.3 Wein zu Wald
		4.A.2.1.4 Obstplantagen zu Wald
		4.A.2.1.5 Baumschulen zu Wald4.A.2.1.5 sonstige $Ackerkulturen_{perennierend}$ zu Wald
		4.A.2.1.6 Weihnachtsbaumkulturen zu Wald
		4.A.2.1.7 Kurzumtriebsplantagen zu Wald
	4.A.2.2. Grünland zu Wald	4.A.2.2.1 Grünland i.e.S. zu Wald
		4.A.2.2.2 Gehölze zu Wald
	4.A.2.3. Feuchtgebiete zu Wald	4.A.2.3.1 Terrestrische Feuchtgebiete zu Wald
		4.A.2.3.2 Gewässer zu Wald
		4.A.2.3.3 Torfabbau zu Wald
	4.A.2.4. Siedlungen zu Wald	
	4.A.2.5. Sonstige Flächen zu Wald	

Entwaldung wird nach IPCC als „die direkte vom Mensch induzierte Umwandlung von Waldflächen in Nichtwaldflächen[149]“ definiert. Nicht als Entwaldung gilt das Ernten von Waldflächen, die danach wieder verjüngt werden, da dieser Vorgang gemäß Art. 3.4 zur Waldbewirtschaftung zählt. Ebenfalls als nichtentwaldet in diesem Sinne gelten Flächen, die durch natürliche Störereignisse wie Waldbrände, Insektenkalamitäten oder Stürme vorübergehend unbestockt sind, da derartige Flächen von sich aus oder durch waldbauliche Maßnahmen wiederbewaldet werden. Auch diese Flächen fallen unter bewirtschaftete Flächen nach Art. 3.4 oder, wenn es sich um aufgeforstete Flächen handelt, in die Kategorie der aufgeforsteten Flächen nach Art. 3.3.

Finden auf derartigen vorübergehend unbestockten Flächen seit 1990 jedoch menschliche Aktivitäten, wie Straßen-, Siedlungsbau oder andere Landnutzungsarten (Bewirtschaftung von Grünland oder Feuchtflächen) statt, so dass eine Wiederbewaldung der Flächen durch die Änderung der Landnutzung ausgeschlossen wird, so sind diese Flächen entsprechend IPCC als entwaldet zu bezeichnen.

Die Kategorie Entwaldung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

[149] Original „Deforestation” is the direct human-induced conversion of forested land to non-forested land . (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

Tabelle 480: Entwaldung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC	
Entwaldung nach Art. 3.3 KP	4.B.2.1. Wald zu Ackerland/Sonderkulturen	4.B.2.1.1 Wald zu Acker$_{annuell}$
		4.B.2.1.2 Wald zu Hopfen
		4.B.2.1.3 Wald zu Wein
		4.B.2.1.4 Wald zu Obstplantagen
		4.B.2.1.5 Wald zu Baumschulen
		4.B.2.1.6 Wald zu Weihnachtsbaumkulturen
		4.B.2.1.7 Wald zu Kurzumtriebsplantagen
	4.C.2.1. Wald zu Grünland	4.C.2.1.1 Wald zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.1.2 Wald zu Gehölze
	4.D.2.1. Wald zu Feuchtgebiete	4.D.2.1.1 Wald zu Terrestrische Feuchtgebiete
		4.D.2.1.2 Wald zu Gewässer
		4.D.2.1.3 Wald zu Torfabbau
	4.E.2.1. Wald zu Siedlungen	
	4.F.2.1. Wald zu Sonstigen Flächen	(NO)

NO: nicht vorkommend (not occuring)

11.1.3.2 Waldbewirtschaftung (FM)

In Deutschland werden alle Waldflächen, die seit 1990 Wald sind, als bewirtschaftet im Sinne der Marrakesh Accords[150] angesehen und unter *forest management*[151] nach Art. 3.4 KP berichtet. Eine ausführliche Begründung findet sich in Kapitel 11.5.1.

Tabelle 481: Waldbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC
Waldbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP	4.A.1 verbleibende Waldfläche

Da jede Landnutzungsänderung hin zu Wald als Aufforstung, jede Landnutzungsänderung von Wald in eine andere Landnutzungsart als Entwaldung und alle Waldflächen, die nicht Neuwald sind als bewirtschaftet betrachtet werden, ist eine Änderung hinsichtlich der Anwendung der Definitionen über die Zeit ausgeschlossen.

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Senken von Treibhausgasen wurde in dem Modell WoodCarbonMonitor mit einem Berechnungsansatz auf Basis der Daten zur Produktion von Holzprodukten vorgenommen. Die Abschätzung umfasst alle in Deutschland produzierten Holzprodukte, deren Holz aus heimischem Einschlag stammt und die stofflich genutzt werden.

11.1.3.3 Ackerlandbewirtschaftung (CM)

Ackerlandbewirtschaftung (CM) ist die landwirtschaftliche Nutzung von Land als Fläche für den Anbau von Feldfrüchten (z.B. Getreide, Hülsenfrüchte, Hackfrüchte) und Beerenfrüchten (z.B. Erdbeeren), Gartenland als Fläche für den Anbau von Gemüse, Obst und Blumen sowie die Aufzucht von Kulturpflanzen und für Sonderkulturen als Fläche zum Anbau bestimmter Pflanzen

150 Paragraph 1 lit. f des Annex A der Decision 16/CMP.1

151 Original: "Forest management" is a system of practices for stewardship and use of forest land aimed at fulfilling relevant ecological (including biological diversity), economic and social functions of the forest in a sustainable manner. (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

(z.B. Hopfen, Wein, Obstgärten). Ackerlandbewirtschaftung schließt annuelle Kulturen und Dauerkulturen wie Wein, Obstbäume, Hopfen, Baumschulen, Weihnachtsbäume und Kurzumtriebsplantagen ein. Dauerkulturen fallen nicht unter die deutsche Walddefinition.

Die Definition der Ackerlandbewirtschaftung entspricht der Definition der Flächen unter Ackerland der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (siehe Kapitel 6.2 und Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1).

Die Kategorie Ackerlandbewirtschaftung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

Tabelle 482: Ackerlandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC	
Ackerlandbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP	4.B.1 Ackerland bleibt Ackerland	
	4.B.2.2 Grünland zu Ackerland	4.B.2.2.1 Grünland i.e.S. zu Ackerland
		4.B.2.2.2 Gehölze zu Ackerland
	4.B.2.3 Feuchtgebiete zu Ackerland	4.B.2.3.1 Terrestrische Feuchtgebiete zu Ackerland
		4.B.2.3.2 Gewässer zu Ackerland
		4.B.2.3 Torfabbau zu Ackerland
	4.B.2.4 Siedlungen zu Ackerland	
	4.B.2.5 Sonstige Flächen zu Ackerland	
	4.C.2.2.2 Ackerland zu Gehölze	
	4.D.2.2 Ackerland zu Feuchtgebiete	4.D.2.2.3 Ackerland zu Terrestrische Feuchtgebiete
		4.D.2.2.2 Ackerland zu Gewässer
		4.D.2.1 Ackerland zu Torfabbau
	4.E.2.2 Ackerland zu Siedlungen	
	4.F.2.2 Ackerland zu Sonstige Flächen (NO)[2)]	

Alle Flächen unter Ackerlandbewirtschaftung unterliegen periodischen Bewirtschaftungsmaßnahmen, so dass die Emissionen und Senken menschlichen Ursprungs sind.

11.1.3.4 Weidelandbewirtschaftung (GM)

Weidelandbewirtschaftung (GM) ist die Nutzung von Land als Grünland im engen Sinne als Wiesen, Weiden, Almen, Hutungen, Heideflächen, naturbelassenes Grünland, Erholungsflächen sowie Sumpf/Ried.

Die Definition der Weidelandbewirtschaftung entspricht der Definition der Flächen unter Grünland i.e.S. der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (siehe Kapitel 6.2 und Tabelle 354 in Kapitel 6.3.2.1).

Die Kategorie Weidelandbewirtschaftung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

Tabelle 483: Weidelandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC	
Weidelandbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP	4.C.1.1 Grünland i.e.S. bleibt Grünland i.e.S.	
	4.C.2.2 Ackerland zu Grünland i.e.S	4.C.2.2 $Acker_{annuell}$ zu Grünland i.e.S
		4.C.2.2 Hopfen zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.2 Wein zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.2 Obtplantagen zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.2 Baumschulen zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.2 Weihnachtsbaumkulturen zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.2 Kurzumtriebsplantagen zu Grünland i.e.S.
	4.C.1.3 Gehölze zu Grünland i.e.S	
	4.C.2.3 Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S	4.C.2.3. Terrestrische Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.3 Gewässer zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.3 Torfabbau zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.4 Siedlungen zu Grünland i.e.S.	
	4.C.2.5 Sonstige Flächen zu Grünland i.e.S.	
	4.C.1.4 Grünland i.e.S. zu Gehölze	
	4.D.2.3 Grünland i.e.S. zu Feuchtgebiete	4.D.2.3.3 Grünland i.e.S. zu Terrestrische Feuchtgebiete
		4.D.2.2.3 Grünland i.e.S. zu Gewässer
		4.D.2.1 Grünland i.e.S. zu Torfabbau
	4.E.2.3.1 Grünland i.e.S. zu Siedlungen	
	4.F.2.3.1 Grünland i.e.S. zu Sonstige Flächen[2)]	

Alle Flächen unter Weidelandbewirtschaftung unterliegen periodischen Bewirtschaftungsmaßnahmen, so dass die Emissionen und Senken menschlichen Ursprungs sind.

11.1.4 Beschreibung der vorrangigen Bedingungen und/oder der Hierarchie unter den Aktivitäten nach Artikel 3.4, und wie sie konstant auf die Bestimmung der Landklassifizierung angewandt wurden

Deutschland hat unter Art. 3.4 des Kyoto-Protokolls die Hierarchie der Aktivitäten gemäß der Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) festgelegt. Die Aktivität *forest management* ist verpflichtend und hat damit Vorrang vor den freiwilligen Aktivitäten *cropland management* und *grazing land management*. Deutschland hat in der ersten Verpflichtungsperiode *forest management* freiwillig gewählt. Die Hierarchie erlaubt eine konsistente Berichterstattung für die erste und zweite Verpflichtungsperiode.

Gemäß der Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) kann Waldbewirtschaftung (FM) nur auf Flächen stattfinden, die Wald sind. Die unter FM berichteten Waldflächen, sind die nach der Konvention unter *forest land remaining forest land* berichteten Waldflächen, abgesehen von unterschiedlich zu den Konversionsflächen zu Wald (Konvention) bzw. zur Aufforstung (Kyoto-Protokoll) zugeordneten Flächen. Die Gesamtwaldfläche ist unter der Konvention und dem Kyoto-Protokoll gleich. Der gesamte deutsche Wald wird als bewirtschaftet im Sinne der Vorgaben der Marrakesh Accords angesehen. Die Definition der Waldbewirtschaftung wird weit auslegt (siehe dazu ausführlich Kapitel 11.5.1).

Innerhalb der freiwilligen Aktivitäten hat die Zuordnung zu *cropland management* Vorrang vor *grazing land management*. Ackergras in Fruchtfolgen wird der Ackerlandbewirtschaftung zugeordnet. Dauerhafte Landnutzungsänderungen von Acker zu Grünland i.e.S. und umgekehrt werden dagegen als Änderung in der Aktivität von Ackerland- zu Weidelandbewirtschaftung und umgekehrt berichtet. Damit entspricht die Landklassifizierung von Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung der Klassifizierung von Ackerland und Grünland i.e.S. im Inventar unter UNFCCC.

11.2 Landbezogene Informationen

11.2.1 Methode, die für die Bestimmung der Flächengröße nach Artikel 3.3 genutzt wird

Die verwendete Methodik zur Herleitung der Aktivitätsdaten (Flächen) ist in Kapitel 6.3 beschrieben. Sie entspricht dem Approach 3 nach den IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006b), wobei die flächige Bezugseinheit Deutschland ist mit einer Fläche von 35.790.122 ha. Eine ausführliche Beschreibung zur Landnutzungsklassifizierung für den Wald inklusive der Aufforstungs- und Entwaldungsflächen findet sich im Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3.

Durch die Herleitung der Landnutzungsmatrix (LUM) durch eine einheitliche Methode wird für die Entwaldungsflächen dieselbe räumliche Auflösung (spatial assessment unit) wie für Aufforstung verwendet.

11.2.2 Methodik, die zur Entwicklung der Landübergangsmatrix benutzt wird

Die Bestimmung der Waldfläche und die Herleitung der Flächen für die Veränderungskategorien sind ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben. In Tabelle 484 sind die Landnutzungsänderungen (LUC) zu Waldflächen (Afforestation/Reforestation), von Waldflächen (Deforestation) und die bewirtschafteten Flächen (Forest Management) zusammengefasst. Dabei bleiben Umwandlungsflächen bis zum Ende der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls 2020 in den Umwandlungskategorien, weshalb die jährlichen Flächen akkumuliert werden. Neben den akkumulierten Flächen, wie sie in der Berichterstattung verwendet werden, sind diesen in der Tabelle 484 die jährlichen Flächen gegenübergestellt.

Tabelle 484: Akkumulierte und jährliche Flächen der Kategorien Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung

Jahr	Afforestation/ Reforestation (KP 3.3) [kha]		Deforestation (KP 3.3) [kha]		Forest Management (KP 3.4) [kha]	
	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen
1990	11.727	11.727	1.415	1.415	10.826.682	10.826.682
1995	70.591	11.765	8.575	1.433	10.819.522	10.878.348
2000	129.436	11.772	15.743	1.430	10.812.354	10.930.018
2005	175.712	9.260	58.782	8.604	10.769.315	10.935.767
2010	222.841	9.422	86.016	5.445	10.742.081	10.955.500
2011	229.320	6.479	90.163	6.479	10.737.934	10.960.775
2012	235.793	6.473	94.306	4.143	10.733.791	10.963.111
2013	242.255	6.462	98.453	4.147	10.729.644	10.965.437
2014	248.729	6.474	102.597	4.144	10.725.500	10.967.755

Jahr	Afforestation/ Reforestation (KP 3.3) [kha]		Deforestation (KP 3.3) [kha]		Forest Management (KP 3.4) [kha]	
	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen
2015	255.195	6.466	106.746	4.149	10.721.351	10.970.080
2016	269.324	14.129	112.523	5.777	10.715.574	10.970.769
2017	283.444	14.120	118.291	5.768	10.709.806	10.979.130
2018	297.572	14.128	124.065	5.774	10.704.032	10.987.476
2019	311.693	14.121	129.836	5.771	10.698.261	10.995.833
2020	325.819	14.126	135.609	5.773	10.692.488	11.004.181

Zur besseren Transparenz sind in Tabelle 485 die Landnutzungsänderungen (LUC) von Waldflächen (Deforestation) nach Landnutzungskategorien erfasst.

Tabelle 485: Akkumulierte Entwaldungsflächen nach Landnutzungskategorie in Hektar [ha] (CRF 4(KP-I)A.2)

Jahr	zu Forest land	zu Cropland	zu Grassland	zu Wetlands	zu Settlements	zu Other land	Gesamt
1990	NO	0	0	239	1.176	0	1.415
1995	NO	0	0	1.473	7.102	0	8.575
2000	NO	0	0	2.714	13.029	0	15.743
2005	NO	0	0	12.538	46.244	0	58.782
2010	NO	0	0	16.110	69.906	0	86.016
2011	NO	0	0	16.508	73.655	0	90.163
2012	NO	0	0	16.903	77.403	0	94.306
2013	NO	0	0	17.303	81.150	0	98.453
2014	NO	0	0	17.704	84.893	0	102.597
2015	NO	0	0	18.109	88.637	0	106.746
2016	NO	0	0	18.831	93.692	0	112.523
2017	NO	0	0	19.548	98.743	0	118.291
2018	NO	0	0	20.268	103.797	0	124.065
2019	NO	0	0	20.991	108.845	0	129.836
2020	NO	0	0	21.712	113.897	0	135.609

Die Bestimmung der Acker- und Grünlandflächen sowie die Herleitung der Flächen für die Veränderungskategorien sind ebenfalls ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben. In Tabelle 486 sind die Flächen unter Ackerlandbewirtschaftung (Cropland Management) und Weidelandbewirtschaftung (Grazingland Management) zusammengefasst. Dabei werden im Basisjahr die Landnutzungsänderungen (LUC) in der Periode 1970 bis 1990 berücksichtigt, außer bei Landnutzungsänderungen zu Wald, die methodisch konsistent mit KP Art. 3.3 kumulativ seit 1990 als Aufforstung erfasst werden. Die Flächen werden stratifiziert nach

- Ackerland bleibt Ackerland bzw. Grünland i.e.S bleibt Grünland i.e.S
- Landnutzungsänderungen zu Ackerland bzw. zu Grünland i.e.S (außer Wald)
- Landnutzungsänderungen von Ackerland bzw. von Grünland i.e.S zu Nutzungskategorien, die nicht in anderen Aktivitäten unter KP Art. 3.3. oder 3.4 erfasst sind.

Bei Landnutzungsänderungen von Ackerland und Grünland i.e.S. zu Nutzungskategorien, die nicht in anderen Aktivitäten unter KP Art. 3.3. oder 3.4 erfasst sind, werden gemäß der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.9.2, die Fläche erfasst und die Emissionen berichtet:

Included Elsewhere (IE) wird bei Landnutzungsänderungen von Ackerland- bzw. Weidelandbewirtschaftung in die Kategorie Aufforstung/Wiederaufforstung verwendet. Des Weiteren wird IE für die Pools Streu und Totholz eingesetzt, da die Gesamtbiomasse der Pflanzen in die Emissionsberechnung eingeht.

Tabelle 486: Übersicht über die Flächen unter Ackerland- (Cropland Management) und Weidelandbewirtschaftung (Grazing Land Management) von 1990-2020 (fett gedruckt: Kyoto II - relevante Flächen)

Cropland Management (CM)				
Jahr	cropland remaining cropland [ha]	∑LUC to cropland [ha]	∑LUC from cropland [ha]	∑cropland management [ha]
1990	**13.087.052**	**502.120**	**7.830**	**13.597.002**
1995	13.105.472	497.953	46.997	13.650.422
2000	13.120.473	497.201	86.159	13.703.833
2005	12.471.178	764.891	335.980	13.572.049
2010	12.103.629	859.704	476.512	13.439.845
2013	**11.786.558**	**1.047.292**	**563.347**	**13.397.197**
2014	**11.679.858**	**1.110.829**	**592.392**	**13.383.079**
2015	**11.572.633**	**1.174.909**	**621.360**	**13.368.902**
2016	**11.516.349**	**1.200.237**	**634.537**	**13.351.123**
2017	**11.459.119**	**1.226.506**	**647.547**	**13.333.172**
2018	**11.401.680**	**1.252.978**	**660.441**	**13.315.099**
2019	**11.343.477**	**1.280.237**	**673.503**	**13.297.217**
2020	**11.284.943**	**1.307.812**	**686.571**	**13.279.326**
Grazing Land Management (GM)				
Jahr	grazing land remaining grazing land [ha]	∑LUC to grazing land [ha]	∑LUC from grazing land [ha]	∑grazing land management [ha]
1990	**5.759.300**	**413.336**	**4.430**	**6.177.066**
1995	5.738.496	401.763	26.629	6.166.888
2000	5.709.756	398.084	48.822	6.156.662
2005	5.221.671	1.044.443	264.617	6.530.731
2010	4.996.692	1.325.240	430.475	6.752.407
2013	**4.796.135**	**1.518.366**	**513.759**	**6.828.260**
2014	**4.728.020**	**1.583.995**	**541.343**	**6.853.358**
2015	**4.659.786**	**1.649.719**	**569.053**	**6.878.558**
2016	**4.620.743**	**1.692.027**	**594.526**	**6.907.296**
2017	**4.581.117**	**1.734.888**	**620.004**	**6.936.009**
2018	**4.541.110**	**1.778.167**	**645.540**	**6.964.817**
2019	**4.500.672**	**1.821.839**	**670.919**	**6.993.430**
2020	**4.459.901**	**1.865.849**	**696.279**	**7.022.029**

11.2.3 Karten und/oder Datenbanken zur Bestimmung der geografischen Position von Flächen und das dazugehörige Identifizierungssystem

Zur Ermittlung der Aktivitätsdaten wurden folgende Datenquellen benutzt:

- Basis-Digitales LandschaftsModell (Basis-DLM) zu den Zeitpunkten 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020
- Karte organischer Böden Deutschlands
- OpenStreetMap aus dem Jahr 2013 (© OpenStreetMap-Mitwirkende)

- Corine Land Cover (CLC) 1990, 2000
- Digitales Landbedeckungsmodell zum Zeitpunkt 2012 (LBM12)

Ausführliche Beschreibungen zu den Datenquellen finden sich im Kapitel 6.3.2.1.

Alle Aufforstungen und Entwaldungen sind in Artikel 3.3 bilanziert und werden nicht unter Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nach Artikel 3.4 angegeben. Die Veränderungen der Flächen zwischen den Maßnahmen gemäß Artikel 3.3 und Artikel 3.4 werden in KP-Tabelle NIR 2 aufgeführt. Die Methodik der Flächenherleitung beruht auf einem stichprobenbasierten System, welches die Fläche je Landnutzungskategorie und die Landnutzungsänderungen von und zu den Landnutzungskategorien erfasst (s. Kapitel 6.3). Das verwendete Stichprobennetz basiert auf einem systematischen Netz mit einer Netzweite 100 m x 100 m. Jeder Stichprobenpunkt wird entsprechend der Lage den Landnutzungskategorien Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung sowie Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung oder keiner von diesen Kategorien zugeordnet. Für die Kategorien Aufforstung und Entwaldung ist ein Wechsel des Stichprobenpunktes in eine andere Landnutzungskategorie ausgeschlossen. Jeder Stichprobenpunkt entspricht einer Fläche von 1 ha und über die Stichprobenkoordinaten ist die geografische Position der Fläche bestimmt. Durch dieses Identifizierungssystem ist eine eindeutige Abgrenzung zwischen Aufforstungs- und Entwaldungsflächen unter KP Art. 3.3 und Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nach KP Art. 3.4 gegeben.

11.3 Aktivitätsspezifische Informationen

11.3.1 Methoden für die Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung, Treibhausgasemissionen und Reduktionsschätzungen

11.3.1.1 Beschreibung der Methoden und der angewandten, zugrundeliegenden Annahmen

11.3.1.1.1 Zusammenfassung

Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung

Wie im Kapitel 11.1.3 beschrieben, sind die Aktivitäten Waldbewirtschaftung und Aufforstung im Kyoto Protokoll den Kategorien 4.A.1 verbleibende Waldfläche und 4.A.2 Flächenumwandlungen zu Wald bei der Klimarahmenkonvention gleichzusetzen. Deshalb sind die verwendeten Methoden zur Konventionsberichterstattung identisch und in den entsprechenden Kapiteln wie folgt beschrieben:

- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse: Kapitel 6.4.2.2,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte im Totholz: Kapitel 6.4.2.3,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der Streu: Kapitel 6.4.2.4,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden: Kapitel 6.4.2.5,
- CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus drainierten organischen Böden: Kapitel 6.4.2.6,
- direkte und indirekte N_2O-Emissionen aus Humusverlusten bei Landnutzungsänderung: Kapitel 6.1.2.7 bzw. Kapitel 6.1.2.8
- CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus Waldbränden: Kapitel 6.4.2.7.5,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in den Holzprodukten: Kapitel 6.10,

Bei den Entwaldungen kommt es zu Kohlenstoffverlusten bei Biomasse, Totholz, Streu, mineralischen und organischen Böden. Bei Biomasse, Totholz und Streu wird angenommen, dass sie im Jahr der Umwandlung als Emission emittiert werden. Die Emissionen aus organischen

Böden finden jedes Jahr auf der gesamten Entwaldungsfläche statt und für mineralische Böden wird eine Übergangszeit von 20 Jahren angenommen.

Eine Übersicht über die Änderungen der Kohlenstoffvorräte, der Treibhausgasemissionen und der Flächen bei Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung für das Jahr 2020 gibt Tabelle 487.

Tabelle 487: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung im Jahr 2020

	Waldbewirtschaftung	Aufforstung	Entwaldung
C-Vorratsänderungen in Biomasse [kt C] *	8.004,873	35,109	-124,148
C-Vorratsänderungen im Totholz[kt C] *	1.014,681	0,869	-11,373
C-Vorratsänderungen in Streu[kt C] *	-133,656	152,015	-107,592
C-Vorratsänderungen in Mineralböden [kt C] *	4.279,996	88,543	-18,528
CO_2 aus organischen Böden [kt C] *	-672,720	-65,122	-64,551
N_2O aus organischen Böden [kt N_2O] **	0,698	0,067	0,027
CH_4 aus organischen Böden [kt CH_4] **	1,245	0,118	2,311
Direktes und indirektes N_2O aus Zersatz organischer Substanz in Mineralböden [kt N_2O] **	0,000	0,052	0,042
CO_2 aus Waldbränden [kt C] *	IE	IE	NO
N_2O aus Waldbränden [kt N_2O] **	0,004	IE	NO
CH_4 aus Waldbränden [kt CH_4] **	0,073	IE	NO
C-Vorratsänderungen aus Holzprodukten [kt C] *	2.359,440	IE	NO
**Summe [kt CO_2-Eq] ** **	-54.098,446	-725,089	1.274,136
jährliche Flächen [ha]	11.004.181	14.126	5.773
akkumulierte Flächen [ha]	10.692.488	325.819	135.609

*Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsenke; Vorratsänderung negativ: Kohlenstoffquelle

THG Emissionen positiv: THG-Quelle; THG Emissionen negativ: THG-Senke Ackerlandbewirtschaftung**

Die Aktivität Ackerlandbewirtschaftung entspricht methodisch den Kategorien 4.B.1 und 4.B.2 außer 4.B.2.1 Wald zu Ackerland:

- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse: Kapitel 6.1.2.3ff und 6.5.2.2,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden: Kapitel 6.1.2.1 und 6.5.2.3,
- CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus drainierten organischen Böden: Kapitel 6.1.2.1 und Kapitel 6.5.2.4,
- direkte und indirekte N_2O-Emissionen aus Humusverlusten bei Landnutzungsänderung: Kapitel 6.1.2.7 bzw. Kapitel 6.1.2.8 und
- Nachweis, dass Ackerböden unter verbleibendem Management keine Nettoquelle für Treibhausgase sind: Kapitel 6.5.2.3.2.

Die Kohlenstoffpools Totholz und Streu kommen nur im Wald vor, nicht aber bei Ackerlandbewirtschaftung (NO), da Landnutzungsänderungen von Wald zu Acker unter Entwaldung angerechnet werden. N_2O-Emissionen aus organischen Böden unter Ackerland werden nicht unter der Aktivität Ackerlandbewirtschaftung nach Art. 3.4 berichtet, sondern im Sektor Landwirtschaft (CRF 3.D.a.6); genau wie die N_2O-Emissionen infolge der Mineralisierung organischer Substanz von Mineralböden aus der Subkategorie Ackerland bleibt Ackerland (CRF 3.D.a.5), in Tabelle 488 daher mit dem Vermerk IE versehen.

Gemäß der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Kapitel 2.9.2 (IPCC et al., 2014a) müssen Emissionen aus Flächen, die nur im Basisjahr ("base year only") und nicht während der Verpflichtungsperiode Ackerland waren, als 0 berichtet werden, sofern sie in eine nicht gewählte bzw. nicht anrechenbare Aktivitätskategorie (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) gewechselt sind. Es

ist gute Praxis, aus Gründen der Transparenz, zu zeigen, welchen Einfluss diese Korrekturen auf die zu berichtenden Emissionen und die Anrechnung im Rahmen des Kyotoprotokolls haben (IPCC et al., 2014a); diese Auswirkungen sind in Tabelle 490 und Tabelle 491 dargestellt.

Da Deutschland Ackerlandbewirtschaftung erst für die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls gewählt hat, werden Emissionen infolge eines Wechsels von Ackerlandbewirtschaftung zu Nicht-Kyoto-Aktivitäten nur für Flächen angerechnet, die nach 2012 den Landnutzungswechsel erfahren haben. Diese Emissionen müssen berichtet werden, weil die zugehörigen Flächen bereits in der Verpflichtungsperiode berichtet wurden (Beschluss 2/CMP.7, §24 im Anhang (UNFCCC).

Die Befunde im Zusammenhang mit Ackerlandbewirtschaftung bezüglich des Pools Biomasse im Untersuchungsbericht "Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals" (Ecofys & Environment Agency Austria) der EU-Kommission, als auch die der IPCC-Reviews, wurden methodisch aufgearbeitet und mit dieser Submission vollständig umgesetzt[152]. Die geforderte Methodenänderung bezüglich der Mineralböden[153] ist in der methodischen und technischen Entwicklung und wird schellstmöglich umgesetzt[154] (s. Kapitel 6.1.3.4).

Eine Übersicht über die Änderungen der Kohlenstoffvorräte und der Treibhausgasemissionen bei Ackerlandbewirtschaftung für Jahr 2020 gibt Tabelle 488.

Tabelle 488: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im Jahr 2020

Unterkategorien	C-Vorratsände-rungen in Biomasse *	C-Vorratsände-rungen in Mineralböden *	CO_2 aus organischen Böden *	CH_4 aus organischen Böden **	Direktes und indirektes N_2O aus Zersatz organischer Substanz in Mineralböden **	Summe **
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH_4]	[kt N_2O]	[kt CO_2-Äqu]
Ackerland bleibt Ackerland	-3,37	-7,12	-2.061,06	2,83	IE	7.666,34
Summe LUC zu Ackerland	-264,84	-1.176,11	-1.030,10	2,21	2,17	9.762,87
Summe LUC von Ackerland	389,67	-100,94	-32,49	0,30	0,18	-877,41
Gesamt	121,46	-1.284,17	-3.123,65	5,34	2,35	16.551,80

*Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsenke; Vorratsänderung negativ: Kohlenstoffquelle

**THG Emissionen positiv: THG-Quelle; THG Emissionen negativ: THG-Senke

Die Emissionen aus der Ackerlandbewirtschaftung 2020 werden dominiert von CO_2 aus organischen Böden. Kohlenstoffverluste aus Mineralböden, insbesondere durch die Umwandlung von Weideland- zu Ackerlandbewirtschaftung sind ebenfalls signifikant. Infolge von Landnutzungsänderungen von Ackerland zu nicht angerechneten Aktivitäten (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) ist die Kohlenstoffzunahme im Pool Biomasse deutlich größer, als die Emissionen aus den Böden. Durch diese Überkompensation wirkt diese Subkategorie als Senke.

2020 waren die Netto-Emissionen aus der Ackerlandbewirtschaftung um 17% höher als im Basisjahr 1990 (siehe Tabelle 488 in Kapitel 11.5.2.1), so dass 2020 eine Netto-Emission von 1.762,04 kt CO_2-Äquivalenten anzurechnen ist.

[152] ARR 2021: KL.12, KL.13, KL.17, L.12, L.15, Table 5; ARR 2020: KL.5, Kl.6, Table 3; ARR 2018: KL.10, KL.11

[153] ARR 2021; L.8, Table 5

[154] ARR 2021; L. 14

Weidelandbewirtschaftung:

Die Aktivität Weidelandbewirtschaftung entspricht methodisch der Subkategorie Grünland i.e.S. (4.C.1.1 und entsprechende Landnutzungsänderungen zu Grünland i.e.S. außer Wald zu Grünland i.e.S.). Die Berechnungsmethoden sind wie folgt beschrieben:

- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse: Kapitel 6.1.2.3ff und 6.6.2.2,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden: Kapitel 6.1.2.1 und 6.6.2.3,
- CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus drainierten organischen Böden: Kapitel 6.1.2.1 und 6.6.2.4,
- direkte und indirekte N_2O-Emissionen aus Humusverlusten bei Landnutzungsänderung: Kapitel 6.1.2.7 bzw. 6.1.2.8.

Die Kohlenstoffpools Totholz und Streu kommen nur im Wald vor, nicht aber bei der Weidelandbewirtschaftung (NO, IE), da Landnutzungsänderungen von Wald zu Grünland i.e.S. unter Entwaldung angerechnet werden.

Eine Übersicht über die Änderungen der Kohlenstoffvorräte und der Treibhausgasemissionen bei Weidelandbewirtschaftung für das Jahr 2020 gibt Tabelle 489. N_2O-Emissionen aus organischen Böden unter Grünland i.e.S. werden nicht unter der Aktivität Weidelandbewirtschaftung nach Art. 3.4 berichtet, sondern im Sektor Landwirtschaft.

Bezüglich der Treibhausgasemissionen und –senken aus Flächen, die Landnutzungsänderungen zu nicht angerechneten Aktivitäten unterliegen, sowie der Umsetzung der Befunde der diversen Reviews, gelten für Weidelandbewirtschaftung die unter Ackerlandbewirtschaftung getroffenen Aussagen gleichermaßen.

Tabelle 489: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Jahr 2020

Unterkategorien	C-Vorratsände-rungen in Biomasse *	C-Vorratsände-rungen in Mineralböden *	CO_2 aus organischen Böden *	CH_4 aus organischen Böden **	Direktes und indirektes N_2O aus Zersatz organischer Substanz in Mineralböden **	Summe **
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH_4]	[kt N_2O]	[kt CO_2-Eq]
Weideland bleibt Weideland	NA	NA	-6.062,75	31,89	NA	23.027,35
Summe LUC zu Weideland	-784,03	2.395,83	-1.119,74	6,45	0,004	-1.641,69
Summe LUC von Weideland	669,19	-248,53	-107,39	3,89	0,44	-920,06
Gesamt	-114,84	2.147,30	-7.289,88	42,23	0,44	20.465,60

*Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsenke; Vorratsänderung negativ: Kohlenstoffquelle

**THG Emissionen positiv: THG-Quelle; THG Emissionen negativ: THG-Senke

Die Emissionen aus der Weidelandbewirtschaftung stammen im Jahr 2020 zum größten Teil aus drainierten organischen Böden. Sie werden nur zum Teil (ca. 33 %) kompensiert durch die Senkenfunktion der Mineralböden nach Landnutzungsänderungen. Die Subkategorien "zu Weidelandbewirtschaftung" und "von Weidelandbewirtschaftung" wirken als Senke; im ersten Fall überkompensiert die Kohlenstoffzunahme in den Mineralböden die Emissionen aus der Biomasse und den organischen Böden; im zweiten Fall übertrifft die Senkenfunktion der Biomasse für Kohlenstoff die Emissionen aus den Böden.

2020 waren die Netto-Emissionen aus Weidelandbewirtschaftung um 24,5 % geringer als im Basisjahr 1990 (siehe Tabelle 518 in Kapitel 11.5.2.2), so dass 2020 eine Netto-Emissionsminderung von –6.652,79 kt CO_2-Äquivalenten anrechenbar ist.

Auswirkungen der nach den 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC 2014a) durchzuführenden Korrekturen auf die zu berichtenden Emissionen infolge Acker- und Weidelandbewirtschaftung sowie deren Anrechnung

Tabelle 490 Tabelle 491zeigt die Auswirkungen der gemäß der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC 2014a) durchzuführenden Korrekturen auf die absolute Höhe der Emissionen aus Acker- und Weidelandbewirtschaftung in Deutschland. Die Emissionen infolge von Ackerlandbewirtschaftung haben in der Variante ohne Ausschluss der Wechselflächen von 1990 -2012 nur geringfügig gegenüber dem Basisjahr zugenommen; in der zu berichtenden Variante deutlich, da im Wesentlichen negative Emissionen auf 0 gesetzt wurden.

Bei den Emissionen infolge Weidelandbewirtschaftung sind die Emissionen beider Varianten in der Verpflichtungsperiode deutlich geringer als im Basisjahr, da auch hier in der zu berichtenden Variante hauptsächlich negative Emissionen auf 0 gesetzt werden mussten.

Tabelle 491 zeigt den Effekt der regelgerecht durchgeführten Korrekturen auf die Anrechnung der Emissionen im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Saldiert ergibt sich eine um ca. 69 % geringere Senke.

Tabelle 490: Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge von Acker- und Weidelandbewirtschaftung in Deutschland für das Basisjahr und die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto - Protokolls. Dargestellt sind die berichteten Emissionen sowie diejenigen, die gemäß der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC 2014a) mit 0 berichtet wurden

Ackerlandbewirtschaftung	Basisjahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
					[kt CO_2-Eq.]				
$Emissionen_{berichtet}$	14.142	18.166	18.168	18.522	17.785	17.455	17.320	16.906	16.552
$Emissionen_{auf_0_gesetzt}$	272	-3.430	-3.023	-2.683	-2.270	-1.846	-1.625	-1.398	-1.143
Weidelandbewirtschaftung	**Basisjahr**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
					[kt CO_2-Eq.]				
$Emissionen_{berichtet}$	27.118	23.155	22.931	21.969	22.231	21.973	21.278	20.958	20.466
$Emissionen_{auf_0_gesetzt}$	217	-2.270	-2.024	-1.801	-1.603	-1.318	-576	-307	-63

Tabelle 491: Berechnung der für die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto - Protokolls anzurechnenden Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge von Acker- und Weidelandbewirtschaftung in Deutschland. Dargestellt sind die berichteten Werte ($Anrechnung_{tatsächlich}$) sowie vergleichend die Berechnung ohne Ausschluss der gemäß der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC 2014a) mit 0 zu berichtenden Emissionen (Vergleichsdarstellung: $Anrechnung_{ohne_0}$)

	$Anrechnung_{tatsächlich}$										Anrechnung	
	Basisjahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Summe[1]	Menge[2]	Saldo[3]
						[kt CO_2-Eq.]						
Ackerland-bewirtschaftung	14.142	18.166	18.168	18.522	17.785	17.455	17.320	16.906	16.552	140.874	**27.739**	**-14.248**
Weideland-bewirtschaftung	27.118	23.155	22.931	21.969	22.231	21.973	21.278	20.958	20.466	174.960	**-41.987**	

	Vergleichsdarstellung: Anrechnung$_{ohne_o}$										Anrechnung	
	Basisjahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Summe[1]	Menge[2]	Saldo[3]
	[kt CO_2-Eq.]											
Ackerland-bewirtschaftung	14.414	14.736	15.145	15.839	15.516	15.609	15.695	15.508	15.409	123.457	**8.143**	**-45.546**
Weideland-bewirtschaftung	27.336	20.885	20.907	20.167	20.628	20.655	20.702	20.651	20.402	164.998	**-53.688**	

1) Summe der Emissionen der Verpflichtungsperiode 2013-2020

2) Menge = Summe - Basisjahr * 8

3) ∑ Menge

11.3.1.1.2 Biomasse

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.2.1.
- Neuwaldfläche siehe Kapitel 6.4.2.2.2.

Entwaldung:

Die Berechnung der Änderungen der Kohlenstoffvorräte für die Biomasse auf Entwaldungsflächen erfolgt mit der stock-difference-methode. Dabei werden nur die Flächen berücksichtigt, die zum Zeitpunkt 1 Wald und zum Zeitpunkt 2 Nichtwald (Entwaldungsflächen) waren.

Für die Entwaldungsflächen erfolgte auf Basis der BWI 1987, BWI 2002, Inventurstudie 2008, BWI 2012 und Kohlenstoffinventur 2017 eine Einzelbaumberechnung. Zwischen der BWI 1987 und BWI 2002 fanden nur Bäume in den alten Bundesländern Berücksichtigung, da die BWI 1987 nur dort durchgeführt wurde. Für die neuen Bundesländer wurden die Holzvorräte der alten Bundesländer verwendet. Die Emissionsfaktoren für die abnehmende ober- und unterirdische Biomasse finden sich in Tabelle 492. Die bei der Entwaldung freiwerdenden Kohlenstoffvorräte werden im selben Jahr vollständig als Emission gezählt. Die Vorräte der nachfolgenden Nutzungsklassen werden unter „gains“ in der CRF-Tabelle einmalig für das Umwandlungsjahr angegeben und somit berücksichtigt.

Tabelle 492: Emissionsfaktoren (EF) für die Biomasse der Entwaldung; positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffemission

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Oberirdische Biomasse [tC/ha]	-24,53	-24,53	-34,88	-36,06	-36,06	-36,06	-36,06	-36,06	-36,06
Unterirdische Biomasse [tC/ha]	-4,39	-4,39	-4,60	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82

Ackerlandbewirtschaftung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse finden sich im Kapitel 6.1.2.3 und Kapitel 6.5.2.2 gegliedert nach:

- Dauerkulturen bzw. perennierende Ackerkulturen, stratifiziert in die Subkategorien Hopfen, Obst, Wein, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen (s. Kapitel 6.1.2.3.4ff).
- Annuelle Kulturen, siehe Kapitel 6.1.2.3.3. Die Biomassevorräte werden aus jährlichen Anbau- und Ertragsstatistiken konsistent mit der Berechnung der N-Einträge aus Ernterückständen im Kapitel 5 (Landwirtschaft) berechnet.

- Aggregierung der Biomassewerte siehe Kapitel 6.5.2.2.1.

Die Befunde im Zusammenhang mit Ackerlandbewirtschaftung bezüglich des Pools Biomasse im Untersuchungsbericht "Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals" (ECOFYS 2017) der EU-Kommission, als auch die der IPCC-Reviews, wurden methodisch aufgearbeitet und mit dieser Submission vollständig umgesetzt[155].

Weidelandbewirtschaftung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse finden sich im Kapitel 6.4.2.2.2.

11.3.1.1.3 Totholz

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen im Totholz finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.3.1
- Neuwaldfläche siehe Kapitel 6.4.2.3.2

Entwaldung:

Für die Berechnung des Totholzes auf Entwaldungsflächen wurden die Daten der BWI 2002, Inventurstudie 2008 (IS08), BWI 2012 und Kohlenstoffinventur 2017 verwendet. Bei der BWI 2002 beschränkten sich die terrestrischen Aufnahmen auf Totholz mit einem Durchmesser > 20 cm am dickeren Ende bei liegendem Totholz bzw. BHD bei stehendem Totholz (Polley, 2001). Für die anderen Aufnahmen lag die Grenze entsprechend der Vorgaben der Klimaberichterstattung bei > 10 cm.

Für den Zeitraum 2002 bis 2008 wurde für Totholz zwischen 10 und 20 cm das Verhältnis der Totholzveränderungen zwischen den zwei Stärkeklassen der Periode 2008 bis 2012 zugrunde gelegt. Der Mittelwert für die Totholzvorratsveränderung des Zeitraums 2002 bis 2012 wurde für die Periode 1990 bis 2002 als Totholzvorratsveränderung angenommen. In Tabelle 493 sind die Werte für die Totholzvorratsveränderung der Perioden und Stärkeklassen zusammengefasst. Ab dem Jahr 2018 wurde der Emissionsfaktor der Periode 2012 bis 2017 fortgeschrieben. Die Kohlenstoffvorräte im Totholz für das entsprechende Jahr werden bei der Entwaldung sofort als Kohlenstoffemission berücksichtigt.

Tabelle 493: Emissionsfaktoren (EF) für das Totholz

t C ha^{-1} a^{-1}	1990 - 2001	2002 - 2007	2008 - 2011	2012 - 2020
EF Totholz	-1,884	-1,817	-1,481	-1,971

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

Totholz kommt bei Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nicht vor, daher wird in der CRF-Tabelle 4(KP-I)B.2 und 4(KP-I)B.3 die Felder mit NO versehen. Bei Dauerkulturen wird Totholz und Baumschnitt von den Flächen entfernt. Diese Maßnahmen sind bereits bei der Berechnung der Biomasse berücksichtigt und deshalb mit IE (include elsewhere) gekennzeichnet.

[155] ARR 2021: KL.12, KL.13, KL.17, L.12, L.15, Table 5; ARR 2020: KL.5, Kl.6, Table 3; ARR 2018: KL.10, KL.11

11.3.1.1.4 Streu

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der Streu finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.4.1
- Neuwaldflächen siehe Kapitel 6.4.2.4.2

Entwaldung:

Für die Berechnung der Streuauflage wurden die Zustandsdaten der BZE I und die Zustandsdaten der BZE II verwendet. Danach beträgt der mittlere Kohlenstoffvorrat in der Streu zum Zeitpunkt 1990 (BZE I) 19,05 t ha^{-1} und zum Zeitpunkt 2006 (BZE II) 18,83 t ha^{-1}. Für die Jahre von 1991 bis 2005 werden die Vorräte durch Interpolation der Zustandsdaten zum Zeitpunkt 1990 und 2006 hergeleitet und ab 2007 durch Extrapolation. Die Kohlenstoffvorräte in der Streu für das entsprechende Jahr werden bei der Entwaldung sofort als Kohlenstoffemission berücksichtigt.

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

Streu kommt bei Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nicht vor, bzw. ist in der Biomasse enthalten, daher sind die entsprechenden Felder in CRF-Tabelle 4(KP-I)B.2 und 4(KP-I)B.3 mit NO bzw. IE versehen.

11.3.1.1.5 Mineralische Böden

Waldbewirtschaftung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in den mineralischen Böden der verbleibenden Waldfläche finden sich im Kapitel 6.1.2.1 und 6.4.2.5.1

Aufforstung und Entwaldung:

Die Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderung werden für jede Landnutzungsänderungskategorie als Differenz des Kohlenstoffvorrates der Zielnutzungskategorie und des Kohlenstoffvorrates der Ursprungskategorie berechnet. Die Gesamtänderung wird gemäß IPCC Richtlinien (IPCC, 2003, 2006b; IPCC et al., 1997) auf einen Zeitraum von 20 Jahren linear verteilt. Für Aufforstungs- und Entwaldungsflächen wurden die Kohlenstoffänderungen in den mineralischen Böden entsprechend Tabelle 494 und Kapitel 6.1.2.1 berechnet. Dabei werden die Kohlenstoffvorräte des Waldbodens für das entsprechende Jahr durch lineare Interpolation der Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen angegeben.

Eine ausführliche Beschreibung zum methodischen Vorgegen von Entwaldungen zu Siedlungsflächen und den Auswirkungen auf den Bodenkohlenstoff findet sich im Kapitel 6.1.2.1.6.

Tabelle 494: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) [t C ha^{-1} a^{-1}] für mineralische Böden der Quellkategorien Aufforstung und Entwaldung (negativ = Verlust, positiv = Speicherung)

[t C ha-1 a-1]	KP 3.3 Afforestation/Reforestation	KP 3.3 Deforestation
1990	-0,841	-5,062
1995	-0,452	-0,856
2000	-0,377	-0,479
2005	-0,256	-0,717
2010	-0,101	-0,279
2011	-0,048	-0,186
2012	0,001	-0,174
2013	0,048	-0,164
2014	0,093	-0,155
2015	0,134	-0,145
2016	0,173	-0,214
2017	0,207	-0,196
2018	0,239	-0,179
2019	0,268	-0,164
2020	0,294	-0,150

Ackerlandbewirtschaftung:

Grundlage der Berechnung von Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung bilden Inventur basierte Emissionsfaktoren, beruhend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018); (vergl. Kapitel 6.1.2.1). Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in Mineralböden finden sich in Kapitel 6.1.2.1 und 6.5.2.3.

Für Flächen unter verbleibender Nutzung als Ackerland wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden auf der Basis nationaler Messwerte ausgewiesen. Der Nachweis, dass es sich bei diesem Pool um keine Nettosenke handelt, wird in Kapitel 6.5.2.3.2 geführt.

Die Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020, die Bodenkohlenstoff- und Stickstoffvorräte nach boden- und standortkundlich relevanten Faktoren zu regionalisieren((ARR 2020; L.8, Table 5)), konnte aus technischen Gründen noch nicht implementiert werden; die Einrichtung ist kurzfristig geplant.

Weidelandbewirtschaftung:

Grundlage der Berechnung von Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung bilden Inventur -basierte Emissionsfaktoren, beruhend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018); (vergl. Kapitel 6.1.2.1). Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in Mineralböden finden sich in Kapitel 6.1.2.1 und 6.6.2.3.

Für Flächen unter verbleibender Nutzung als Grünland i.e.S. wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden auf der Basis nationaler Messwerte ausgewiesen (s.Kapitel 6.6.2.3). Bezüglich der Regionalisierung der Bodendaten, gelten die unter Ackerlandbewirtschaftung angeführten Ausführungen (s.o.).

11.3.1.1.6 Organische Böden

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in den organischen Böden finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.6.1
- Neuwaldflächen siehe Kapitel 6.4.2.6.2

Entwaldung:

Für Entwaldungsflächen wurden die Emissionsfaktoren der Subkategorien und die flächengewichtetem Emissionsfaktoren für die Entwaldung in den organischen Böden gemäß Tabelle 495 und Kapitel 6.1.2.2 berechnet. Dabei ist zu beachten, dass hier nicht die Differenz zwischen Wald und der Nachnutzung berechnet wird, sondern entsprechend der Drainage-Intensität die Emission der neuen Nutzung.

Tabelle 495: Emissionsfaktoren für organische Böden der Entwaldung des Jahres 2020 (negativ = Verlust, positiv = Speicherung)

	CO_2 [t ha^{-1}]	N_2O [kg ha^{-1}]	CH_4 [kg ha^{-1}]
Entwaldung	18,95	1,354	185,09

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

Emissionsfaktoren für organische Böden wurden aus räumlich expliziten Daten hergeleitet, indem die Häufigkeitsverteilung der Grundwasserflurabstände nach Nutzung differenziert und Regressionen zwischen Grundwasserflurabständen und CO_2-Emissionen verwendet wurden. Bei Landnutzungsänderungen gilt sofort der Emissionsfaktor der neuen Landnutzungskategorie. Weitere Informationen finden sich wie folgt:

- Herleitung der Emissionen siehe Kapitel 6.1.2.2
- Methodik für Ackerland siehe Kapitel 6.5.2.4
- Methodik für Grünland i.e.S. siehe Kapitel 6.6.2.4.

11.3.1.1.7 Holzprodukte

In der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls wurde der Beitrag des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten in Übereinstimmung mit den IPCC 2003 GPG (IPCC, 2003) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt und dementsprechend nicht berichterstattet und/oder angerechnet (vgl. Kap. 2.8.2, IPCC et al. (2014a)).

Für das vorliegende Berichtsjahr wurde die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen, wie in Kapitel 6.10 detailliert beschrieben, wie auch in den Vorjahren gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) mit dem Modell *WoodCarbonMonitor* (Rüter, 2017) durchgeführt.

Zunächst wurde die Verfügbarkeit von Aktivitätsdaten, d.h. Daten zu Produktion und Außenhandel von Holzprodukten, geprüft (vgl. Kap. 2.8.1.1, IPCC et al. (2014a)). Nach der Berechnung der aus heimischem Einschlag stammenden Produktanteile wurde in einem zweiten Schritt (vgl. Kap. 2.8.1.2, IPCC et al. (2014a)), der in den Produkten enthaltene Kohlenstoff entsprechend der in Kapitel 6.10.2.1 beschrieben Vorgehensweise den Kyoto-Aktivitäten zu Wald unter Artikel 3, Paragraphen 3 und 4 zugeordnet. Für Deutschland lässt sich der Holzeinschlag den beiden Aktivitäten Waldbewirtschaftung (*forest management*), und Entwaldung (*deforestation*) zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldungsereignissen werden gemäß der

Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt, so dass sich als Ergebnis der für Deutschland verfügbaren Inventurinformationen und der Gleichung 2.8.3 (IPCC et al., 2014a) die jährlichen Holzeinschlagsanteile aus der Aktivität Waldbewirtschaftung $f_{FM}(i)$ berechnen.

Holz, welches aus Entwaldungsflächen, aber nicht aus den eigentlichen Entwaldungsereignissen stammt (vgl. CRF Tabelle) kommt in Deutschland nicht vor und wurde daher in der CRF Tabelle mit der Bezeichnung „NO“ versehen. Holz aus den Aktivitäten Aufforstung und Wiederaufforstung ist hingegen in den Daten zu Waldbewirtschaftung enthalten und wurde dementsprechend mit der Bezeichnung „IE“ versehen. Die Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen wird in Deutschland ausschließlich energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt und deshalb nicht unter Holzprodukte (HWP) berichtet.

Weitere Informationen und Angaben zu den verwendeten Emissionsfaktoren und der für Deutschland durchgeführten Berechnung gemäß der Vorgaben des IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) finden sich in den Kapiteln 6.10.2.2 und 0. Entsprechend dieser Vorgaben wird energetisch verwendetes Holz und Holz in Deponien auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt (vgl. Kap. 2.8.2, IPCC et al. (2014a)).

11.3.1.1.8 Sonstige Treibhausgasemissionen

Informationen zur Berechnung sonstiger Treibhausgasemissionen finden sich in den folgenden Kapiteln:

Wälder:

- Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(KP-II)1) siehe Kapitel 6.4.2.7.1
- Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(KP-II)2) siehe Kapitel 6.4.2.7.2
- Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.4.2.7.3
- Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.4.2.7.4
- Waldbrand (CRF-Table 4(KP-II)4) siehe Kapitel 6.4.2.7.5

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

- Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(KP-II)2) siehe Kapitel 6.1.2.6, 6.5.2.4, 6.6.2.4
- Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.1.2.7.
- Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.1.2.8.

Die direkte und indirekte Lachgas-Emission wird für die Kyoto-Berichterstattung zusammengefasst und der gemeinsame Emissionsfaktor in der CRF-Tabelle 4(KP-II)3 berichtet. N_2O-Emissionen aus organischen Böden unter Acker- und Weidelandbewirtschaftung werden im Sektor Landwirtschaft in der Subkategorie Kultivierung von Histosolen(CRF 3.D.a.6) berichtet; ebenso direkte und indirekte Lachgas-Emissionen aus der Mineralisierung organischer Substanz von Mineralböden der Verbleibkategorie Ackerlandbewirtschaftung (CRF 3.D.a.5).

11.3.1.2 Begründung bei Nichtberücksichtigung eines Kohlenstoffpools oder Treibhausgasemissionen/-abbau bei Aktivitäten nach Artikel 3.3 und gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4

Eine Düngung von Waldflächen mit mineralischem Dünger findet in Deutschland nicht statt. Deshalb sind die Felder in der CRF-Tabelle 4(KP-II)1 „Direct N2O emissions from N fertilization“ mit dem Vermerk NO (not occurring) versehen.

Totholz und Streu treten bei Ackerlandbewirtschaftung und Grünlandbewirtschaftung nicht auf (NO, not occurring).

Emissionen aus Mineralböden der Verbleibkategorien Ackerland und Grünland werden nicht berücksichtigt, da sie keine Nettoquelle für Treibhausgase sind. Der Nachweis hierfür wird in Kapitel 6.5.2.3.2 und Kapitel 6.6.2.3 geführt.

11.3.1.3 Informationen ob indirekte oder natürliche Treibhausgase ausgeklammert wurden oder nicht

Bei der Berechnung der Treibhausgase unter KP 3.3 und 3.4 wurden folgende Prozesse:

- Erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen über dem vorindustriellen Niveau
- Indirekte Stickstoffdeposition
- Dynamische Auswirkungen der Altersstruktur aufgrund von Tätigkeiten vor dem 1. Januar 1990.

nicht rausgerechnet.

Für die Erstellung des FMRL wurde die vorhandene Altersklassenverteilung als Ausgangspunkt für die Projektion bei der Erstellung des Benchmarks für's Accounting mittels net-net Approach berücksichtigen, wie im Supplement vorgesehen.

11.3.1.4 Änderungen in den Daten und Methoden seit der letzten Einreichung (Rückrechnungen)

Maßgebliche Maßnahmen zur Inventarverbesserung, die in dieser Submission zur Anwendung kamen und zu Rückrechnungen führten sind:

- Anpassung des Stichprobennetzes zur Ermittlung der Landnutzung und Landnutzungsänderung (s. Kapitel 6.3.1ff)
- Geänderte Emissionsfaktoren für die Biomasse. Für den Verbleibenden Wald wurde für die Biomasse in der Submission 2021 jährliche EF eingeführt. In dieser Submission wurde für die Herleitung der jährlichen Zahlen die Holzeinschlagsdaten konsistent mit denen bei der Herleitung der Holzprodukte verwendet (siehe auch Kapitel 6.4.2.2 und Kapitel 6.10).
- Für das Totholz würde eine Korrektur der Daten für die Aufforstung aus der Kohlenstoffinventur 2017 vorgenommen.
- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand (Kapitel 6.1.2.2ff)
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Einführung einer neuen Methode zur Berechnung von Mineralbodenemissionsfaktoren infolge Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen sowie damit verbunden die Einführung neuer Emissionsfaktoren für Kohlenstoff (s. Kapitel 6.1.2.1.6)

Eine Gegenüberstellung der aktuellen Ergebnisse (Submission 2022) sowohl für die Aktivitätsdaten (AD) und wie für die Emissionen (EM) der letztjährigen Submission (Submission 2021) finden sich wie folgt in den folgenden Tabellen:

- AD Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung Tabelle 496
- AD Ackerlandbewirtschaftung Tabelle 497
- AD Grünlandbewirtschaftung Tabelle 498
- EM Aufforstung Tabelle 499
- EM Entwaldung Tabelle 500
- EM Waldbewirtschaftung Tabelle 501
- EM Land zu Ackerlandbewirtschaftung Tabelle 502
- EM Ackerlandbewirtschaftung Tabelle 503
- EM Land zu Grünlandbewirtschaftung Tabelle 504
- EM Grünlandbewirtschaftung Tabelle 505
- EF Totholz für Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung Tabelle 506
- EF Biomasse für Waldbewirtschaftung Tabelle 497

Tabelle 496: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten für den Wald der Submission 2021 und 2022 (kha)

Quellgruppe	Submission	Pool	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.3 Afforestation /Reforestation	Mineralischer Boden	2021	11,4	68,3	125,2	166,3	207,9	237,6	251,2	264,7	278,3	291,8
		2022	11,4	68,8	126,1	167,2	208,7	238,2	250,8	263,5	276,1	288,7
		Diff. absolut	0,08	0,52	0,93	0,91	0,80	0,60	-0,33	-1,28	-2,22	-3,17
		in %	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%
	Organischer Boden	2021	0,3	1,7	3,2	8,4	14,0	16,8	18,6	20,3	22,0	23,7
		2022	0,3	1,8	3,3	8,5	14,2	17,0	18,5	20,0	21,5	23,0
		Diff. absolut	0,01	0,06	0,13	0,13	0,16	0,14	-0,08	-0,29	-0,51	-0,73
		in %	4%	4%	4%	2%	1%	1%	0%	-1%	-2%	-3%
KP 3.3 Deforestation	Mineralischer Boden	2021	1,4	8,4	15,5	52,4	77,7	98,5	104,7	110,8	117,0	123,1
		2022	1,4	8,4	15,5	52,1	77,0	96,6	101,9	107,2	112,5	117,8
		Diff. absolut	-0,01	-0,01	-0,03	-0,40	-0,74	-1,89	-2,75	-3,61	-4,46	-5,32
		in %	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05
	Organischer Boden	2021	0,02	0,14	0,27	6,72	9,07	10,14	10,65	11,16	11,67	12,17
		2022	0,02	0,15	0,29	6,73	9,05	10,11	10,59	11,06	11,54	12,01
		Diff. absolut	0,00	0,01	0,02	0,01	-0,02	-0,03	-0,07	-0,10	-0,14	-0,16
		in %	9%	5%	7%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%
KP 3.4 Forest Management	Mineralischer Boden	2021	10.561,1	10.554,1	10.547,0	10.510,1	10.484,8	10.464,0	10.457,8	10.451,7	10.445,5	10.439,4
		2022	10.560,7	10.553,7	10.546,7	10.510,1	10.485,2	10.465,5	10.460,2	10.454,9	10.449,6	10.444,3
		Diff. absolut	-0,38	-0,38	-0,35	0,01	0,36	1,51	2,37	3,23	4,08	4,93
		in %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Organischer Boden	2021	265,5	265,4	265,2	258,8	256,4	255,4	254,8	254,3	253,8	253,3
		2022	265,9	265,8	265,7	259,2	256,9	255,9	255,4	254,9	254,4	254,0
		Diff. absolut	0,46	0,46	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63
		in %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabelle 497: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 (kha)

Quellgruppe	Submission	Pool	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 to Cropland Management	Mineralischer Boden	2021	478,2	478,3	478,5	785,6	930,4	1.268,8	1.312,3	1.355,7	1.399,2	1.442,6
		2022	478,1	475,1	474,6	698,3	774,8	1.059,7	1.085,7	1.112,5	1.139,5	1.167,3
		Diff. absolut	-0,11	-3,26	-3,92	-87,34	-155,56	-209,07	-226,54	-243,21	-259,67	-275,37
		in %	0%	-1%	-1%	-13%	-20%	-20%	-21%	-22%	-23%	-24%
	Organischer Boden	2021	24,0	24,1	24,2	71,4	96,2	134,6	139,9	145,3	150,6	155,9
		2022	24,0	22,9	22,6	66,6	84,9	115,2	114,5	114,0	113,5	113,0
		Diff. absolut	-0,02	-1,21	-1,56	-4,84	-11,36	-19,44	-25,43	-31,29	-37,12	-42,93
		in %	0%	-5%	-7%	-7%	-13%	-17%	-22%	-27%	-33%	-38%
KP 3.4 Cropland Management	Mineralischer Boden	2021	12.778,6	12.799,5	12.820,4	12.120,7	11.701,3	11.130,9	11.058,9	10.986,9	10.914,9	10.843,0
		2022	12.775,5	12.799,5	12.820,9	12.204,2	11.852,9	11.336,0	11.283,2	11.229,6	11.175,7	11.121,2
		Diff. absolut	-3,09	-0,03	0,49	83,47	151,58	205,12	224,28	242,65	260,82	278,22
		in %	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	3%
	Organischer Boden	2021	311,7	304,9	298,2	262,2	239,5	217,4	207,7	198,0	188,4	178,7
		2022	311,6	306,0	299,6	267,0	250,7	236,6	233,2	229,6	225,9	222,3
		Diff. absolut	-0,07	1,11	1,45	4,74	11,18	19,26	25,47	31,52	37,55	43,57
		in %	0%	0%	0%	2%	4%	8%	11%	14%	17%	20%

Tabelle 498: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 (kha)

Quellgruppe	Submission	Pool	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 to Grazing Land Management	Mineralischer Boden	2021	353,9	354,1	354,3	997,9	1.387,8	1.901,1	1.982,4	2.063,6	2.144,9	2.226,1
		2022	353,8	342,6	339,0	945,9	1.215,4	1.533,9	1.570,1	1.606,8	1.643,9	1.681,2
		Diff. absolut	-0,18	-11,56	-15,32	-51,99	-172,39	-367,20	-412,27	-456,85	-501,00	-544,94
		in %	0%	-3%	-5%	-5%	-14%	-24%	-26%	-28%	-30%	-32%
	Organischer Boden	2021	59,6	59,6	59,8	103,9	123,7	138,3	148,1	157,8	167,5	177,2
		2022	59,6	59,2	59,1	98,5	109,8	115,8	121,9	128,1	134,3	140,6
		Diff. absolut	0,02	-0,46	-0,66	-5,43	-13,81	-22,55	-26,13	-29,66	-33,19	-36,53
		in %	0%	-1%	-1%	-6%	-13%	-19%	-21%	-23%	-25%	-26%
KP 3.4 Grazing Land Management	Mineralischer Boden	2021	4.845,4	4.804,2	4.763,0	4.292,2	3.972,3	3.473,5	3.393,3	3.313,1	3.233,0	3.152,8
		2022	4.840,5	4.810,8	4.773,5	4.337,7	4.136,8	3.831,7	3.797,2	3.762,2	3.726,9	3.691,3
		Diff. absolut	-4,89	6,58	10,46	45,52	164,48	358,23	403,92	449,11	493,89	538,43
		in %	0%	0%	0%	1%	4%	9%	11%	12%	13%	15%
	Organischer Boden	2021	919,3	927,7	936,1	879,1	846,7	806,3	798,0	789,8	781,5	773,3
		2022	918,8	927,7	936,3	883,9	859,9	828,1	823,5	818,9	814,2	809,4
		Diff. absolut	-0,52	-0,01	0,20	4,88	13,17	21,84	25,50	29,10	32,72	36,14
		in %	0%	0%	0%	1%	2%	3%	3%	4%	4%	4%

Tabelle 499: Gegenüberstellung der Emissionen von Aufforstungen für die Submission 2021 und 2022

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.3 Afforestation/ Reforestation	C	2021	-183,93	-144,61	-39,03	5,47	171,76	273,38	67,85	102,89	137,81	172,15
		2022	-142,23	-127,67	-69,15	-136,93	412,86	218,19	117,55	141,36	158,86	183,63
		Diff. absolut	41,70	16,94	-30,12	-142,39	241,11	-55,19	49,69	38,47	21,04	11,48
		in %	-29,3%	-13,3%	43,6%	104,0%	58,4%	-25,3%	42,3%	27,2%	13,2%	6,3%
	CH_4	2021	0,001	0,009	0,017	0,040	0,065	0,078	0,085	0,096	0,104	0,113
		2022	0,002	0,009	0,017	0,039	0,065	0,079	0,087	0,096	0,103	0,111
		Diff. absolut	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	-0,001	-0,002
		in %	11,0%	-4,1%	0,3%	-2,3%	0,0%	1,7%	1,5%	0,3%	-1,0%	-1,8%
	N_2O	2021	0,012	0,060	0,099	0,135	0,166	0,169	0,180	0,190	0,201	0,213
		2022	0,021	0,090	0,154	0,192	0,211	0,168	0,166	0,164	0,162	0,160
		Diff. absolut	0,009	0,031	0,055	0,056	0,045	-0,001	-0,014	-0,026	-0,039	-0,053
		in %	44,1%	33,9%	35,8%	29,4%	21,3%	-0,8%	-8,3%	-16,0%	-24,2%	-33,0%

Tabelle 500: Gegenüberstellung der Emissionen von Entwaldung für die Submission 2021 und 2022

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.3 Deforestation	C	2021	-56,36	-59,16	-62,36	-468,35	-342,93	-296,91	-426,63	-429,03	-431,47	-433,49
		2022	-77,67	-69,21	-52,86	-501,08	-253,71	-178,60	-301,24	-312,87	-322,75	-323,74
		Diff. absolut	-21,31	-10,05	9,49	-32,73	89,22	118,30	125,39	116,16	108,72	109,75
		in %	27,4%	14,5%	-18,0%	6,5%	-35,2%	-66,2%	-41,6%	-37,1%	-33,7%	-33,9%
	CH_4	2021	0,0013	0,009	0,016	0,362	1,149	1,315	1,423	1,484	1,541	1,598
		2022	0,0036	0,027	0,057	1,191	1,600	1,841	1,932	2,030	2,126	2,225
		Diff. absolut	0,0023	0,018	0,041	0,829	0,451	0,526	0,509	0,546	0,586	0,626
		in %	63,5%	68,0%	72,0%	69,6%	28,2%	28,6%	26,3%	26,9%	27,5%	28,2%
	N_2O	2021	0,0002	0,0018	0,003	0,034	0,034	0,033	0,043	0,044	0,045	0,046
		2022	0,0064	0,0095	0,010	0,059	0,049	0,044	0,055	0,056	0,057	0,058
		Diff. absolut	0,0062	0,0078	0,007	0,025	0,015	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012
		in %	96,9%	81,6%	67,0%	42,0%	30,7%	24,4%	22,0%	21,2%	20,5%	20,0%

Tabelle 501: Gegenüberstellung der Emissionen von Waldbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 Forest Manage-ment	C	2021	6.215,84	22.038,27	17.118,47	9.231,92	13.426,17	16.904,04	17.409,60	17.321,68	15.862,52	15.675,02
		2022	5.528,15	19.747,15	14.241,03	9.664,84	13.539,51	16.648,34	17.406,61	17.112,35	15.190,70	14.273,63

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
		Diff. absolut	-687,69	-2.291,12	-2.877,44	432,93	113,34	-255,70	-2,99	-209,34	-671,82	-1.401,39
		in %	-12,4%	-11,6%	-20,2%	4,5%	0,8%	-1,5%	0,0%	-1,2%	-4,4%	-9,8%
	CH_4	2021	1,304	1,304	1,303	1,274	1,263	1,258	1,255	1,252	1,249	1,246
		2022	1,306	1,305	1,304	1,273	1,261	1,256	1,254	1,252	1,249	1,247
		Diff. absolut	0,001	0,001	0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	0,000	0,000	0,001
		in %	0,1%	0,1%	0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
	N_2O	2021	1,806	1,805	1,804	1,761	1,745	1,737	1,734	1,731	1,727	1,724
		2022	1,151	1,151	1,150	1,122	1,112	1,108	1,106	1,104	1,101	1,099
		Diff. absolut	-0,654	-0,654	-0,654	-0,638	-0,633	-0,629	-0,628	-0,627	-0,626	-0,624
		in %	-56,8%	-56,8%	-56,9%	-56,9%	-56,9%	-56,8%	-56,8%	-56,8%	-56,8%	-56,8%

Tabelle 502: Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022

Quell-gruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 to Cropland Management	C	2021	-764,68	-751,02	-739,56	-1.447,52	-1.764,60	-2.325,97	-2.603,28	-2.659,90	-2.883,70	-2.890,37
		2022	-835,28	-914,37	-901,77	-1.792,05	-1.760,60	-2.343,22	-2.386,47	-2.386,70	-2.477,21	-2.461,33
		Diff. absolut	-70,60	-163,35	-162,21	-344,52	4,00	-17,25	216,81	273,21	406,49	429,04
		in %	8,5%	17,9%	18,0%	19,2%	-0,2%	0,7%	-9,1%	-11,4%	-16,4%	-17,4%
	CH_4	2021	0,467	0,395	0,362	2,040	2,524	3,444	3,051	3,186	3,326	3,491
		2022	0,462	0,384	0,356	1,284	1,828	2,367	2,421	2,448	2,411	2,336
		Diff. absolut	-0,004	-0,011	-0,007	-0,756	-0,696	-1,077	-0,630	-0,738	-0,915	-1,155
		in %	-1,0%	-2,9%	-1,8%	-58,9%	-38,1%	-45,5%	-26,0%	-30,1%	-37,9%	-49,4%
	N_2O	2021	0,392	0,388	0,386	0,721	0,848	1,178	1,209	1,242	1,276	1,312
		2022	0,784	0,771	0,765	1,283	1,413	1,967	2,000	2,038	2,079	2,124
		Diff. absolut	0,392	0,382	0,379	0,562	0,565	0,788	0,791	0,796	0,803	0,811
		in %	50,0%	49,6%	49,5%	43,8%	40,0%	40,1%	39,5%	39,1%	38,6%	38,2%

Tabelle 503: Gegenüberstellung der Emissionen von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022

Quell-gruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 Cropland Manage-ment	C	2021	-2.895,12	-2.846,44	-2.801,20	-2.468,92	-2.262,04	-2.043,11	-1.945,13	-1.854,94	-1.763,83	-1.673,81
		2022	-2.918,09	-2.888,09	-2.840,97	-2.537,92	-2.380,05	-2.232,92	-2.216,22	-2.183,20	-2.144,09	-2.106,80
		Diff. absolut	-22,97	-41,65	-39,77	-69,00	-118,01	-189,81	-271,09	-328,26	-380,26	-432,99
		in %	0,8%	1,4%	1,4%	2,7%	5,0%	8,5%	12,2%	15,0%	17,7%	20,6%
	CH_4	2021	5,379	5,003	4,607	3,819	3,284	2,910	2,760	2,596	2,446	2,310

Quell-gruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
		2022	5,367	5,009	4,613	3,882	3,438	3,171	3,151	3,101	3,025	2,936
		Diff. absolut	-0,011	0,006	0,006	0,063	0,154	0,261	0,392	0,505	0,579	0,626
		in %	-0,2%	0,1%	0,1%	1,6%	4,5%	8,2%	12,4%	16,3%	19,2%	21,3%

Tabelle 504: Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 to Grazing Land Management	C	2021	-25,54	-37,59	-47,69	-38,08	719,66	1.277,18	1.057,09	1.037,12	1.167,30	1.113,93
		2022	-60,13	-149,94	-165,18	-598,14	341,07	789,02	597,00	542,45	591,59	523,20
		Diff. absolut	-34,59	-112,35	-117,49	-560,06	-378,59	-488,16	-460,09	-494,68	-575,70	-590,73
		in %	57,5%	74,9%	71,1%	93,6%	-111,0 %	-61,9%	-77,1%	-91,2%	-97,3%	-112,9%
	CH_4	2021	2,774	2,728	2,652	4,453	6,363	7,301	7,910	8,158	8,390	8,568
		2022	2,409	2,333	2,249	4,694	5,258	5,609	5,681	5,782	5,953	6,169
		Diff. absolut	-0,365	-0,395	-0,403	0,242	-1,105	-1,692	-2,229	-2,375	-2,436	-2,398
		in %	-15,1%	-17,0%	-17,9%	5,1%	-21,0%	-30,2%	-39,2%	-41,1%	-40,9%	-38,9%
	N_2O	2021	0,0002	0,0003	0,0003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
		2022	0,0005	0,0005	0,0005	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
		Diff. absolut	0,0002	0,0002	0,0002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
		in %	47,2%	45,9%	46,1%	46,8%	42,8%	37,8%	37,1%	36,8%	36,0%	35,2%

Tabelle 505: Gegenüberstellung der Emissionen von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
KP 3.4 Grazing Land Manage-ment	C	2021	-7.027,01	-7.082,76	-7.137,61	-6.662,37	-6.359,79	-6.017,23	-5.954,11	-5.890,92	-5.827,57	-5.764,08
		2022	-7.099,66	-7.159,96	-7.217,04	-6.772,92	-6.530,52	-6.249,30	-6.212,95	-6.176,14	-6.139,18	-6.100,82
		Diff. absolut	-72,66	-77,20	-79,43	-110,56	-170,74	-232,07	-258,84	-285,22	-311,61	-336,74
		in %	1,0%	1,1%	1,1%	1,6%	2,6%	3,7%	4,2%	4,6%	5,1%	5,5%
	CH_4	2021	39,472	39,968	40,481	38,556	38,461	37,692	37,264	36,842	36,424	36,020
		2022	32,218	32,683	33,155	31,955	32,748	32,845	32,653	32,456	32,277	32,100
		Diff. absolut	-7,254	-7,285	-7,326	-6,600	-5,713	-4,847	-4,611	-4,385	-4,147	-3,920
		in %	-22,5%	-22,3%	-22,1%	-20,7%	-17,4%	-14,8%	-14,1%	-13,5%	-12,8%	-12,2%

Tabelle 506: Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Totholz für die Submission 2021 und 2022 (tC/ha)

CRF-Nr.		Pool	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2019
KP 3.4	Forest Land remaining Forest Land	2021	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
		2022	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
		Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00
KP 3.3	Afforestation/Reforestation	2021	-0,03	-0,03	-0,23	-0,003
		2022	-0,03	-0,03	-0,23	-0,003
		Differenz	0,00	0,00	0,00	0,000
	Deforestation	2021	1,88	1,82	1,48	1,97
		2022	1,88	1,82	1,48	1,97
		Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 507: Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Biomasse in der Waldbewirtschaftung für die Submission 2021 und 2022 (tC/ha)

Pool	Forest Land remaining Forest Land			
	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
Submission	2021	2022	2021	2022
1990	-0,19	-0,14	-0,02	-0,01
1991	-1,47	-1,58	-0,14	-0,15
1992	-1,61	-1,71	-0,15	-0,16
1993	-1,60	-1,70	-0,15	-0,16
1994	-1,36	-1,50	-0,13	-0,14
1995	-1,53	-1,34	-0,15	-0,13
1996	-1,40	-1,42	-0,13	-0,13
1997	-1,38	-1,37	-0,13	-0,13
1998	-1,39	-1,35	-0,13	-0,13
1999	-1,40	-1,39	-0,13	-0,13
2000	-1,12	-0,87	-0,11	-0,08
2001	-1,27	-1,34	-0,12	-0,13
2002	-0,46	-0,39	-0,12	-0,10
2003	-0,42	-0,42	-0,11	-0,11
2004	-0,39	-0,39	-0,10	-0,10
2005	-0,35	-0,38	-0,09	-0,10
2006	-0,33	-0,35	-0,08	-0,09
2007	-0,25	-0,26	-0,07	-0,07
2008	-0,97	-0,97	-0,13	-0,13
2009	-1,12	-1,11	-0,15	-0,15
2010	-0,98	-0,99	-0,13	-0,14
2011	-0,96	-0,96	-0,13	-0,13
2012	-0,93	-0,92	-0,16	-0,16
2013	-0,95	-1,00	-0,17	-0,18
2014	-1,01	-0,98	-0,18	-0,18
2015	-0,98	-0,96	-0,17	-0,17
2016	-1,02	-1,02	-0,18	-0,18
2017	-1,02	-1,00	-0,18	-0,18
2018	-0,90	-0,85	-0,16	-0,15
2019	-0,89	-0,78	-0,16	-0,14

11.3.1.5 Schätzung der Unsicherheiten

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Aktivitäten nach den Artikeln 3.3 Aufforstung/Entwaldung und 3.4 Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung des Kyoto Protokolls (KP) erfolgte gemäß den Vorgaben der IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006b). Bei Normalverteilung wird das 95 % Konfidenzintervall bzw. ± die Hälfte des 95 % Konfidenzintervals oder 1,96 x der Standardfehler in % vom Mittelwert

angegeben. Bei unsymmetrischen Verteilungen, hier in der Regel logarithmisch normalverteilte Daten, werden die zu ermittelnden Abweichungen in % vom Lagemaß als obere und untere Schranke dargestellt. Bei der Berechnung der Unsicherheitenfortpflanzung wurde in solch einem Fall im Sinne einer konservativen Abschätzung, der Abstand zwischen dem Extremwert des schiefen Achsenabschnitts zum Lagemaß per Definition zur Hälfte des 95 % Konfidenzintervals erklärt.

Die Ergebnisse der Unsicherheitenberechnung des KP 3.3/3.4-Inventars sind für alle Quellgruppen und Unterkategorien (außer den Holzprodukten; siehe Kapitel 11.3.1.5.3) in Tabelle 508 dargestellt. Die Gesamtunsicherheit beträgt demnach 20,26 %.

Weiterführende Informationen zu den Unsicherheiten finden sich für die Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen im Kapitel 11.3.1.5.3, für die ober- und unterirdischen Biomasse und das Totholz im Kapitel 11.3.1.5.1, für die Streu und mineralische Böden im Kapitel 11.3.1.5.2 und zusammenfassend für den LULUCF-Sektor im Kapitel 6.1.2.10.

Tabelle 508: Unsicherheiten für die Treibhausgasberichterstattung für Aktivitäten des Kyoto-Protokolls der Artikel 3.3 und 3.4

Source Category	Pool	Gas	Base year emissions [CO_2-eq,] kt a^{-1}	Year 2020 emissions [CO_2-eq,] kt a^{-1}	Combined uncertainty Maximalwert %	Contribution to Variance by Category in Year 2020 %
	Mineral soils	CO_2	35,25	324,66	5,0	0,0
	Organic soils	CO_2	2,83	238,78	16,4	0,0
	Organic soils	CH_4	0,04	2,96	63,1	0,0
	Organic soils	N_2O	0,38	31,58	67,2	0,0
KP 3.3 Afforestation/Reforestation	Above-ground biomass	CO_2	317,85	353,16	40,4	0,0
	Below-ground biomass	CO_2	187,49	224,42	63,5	0,0
	Litter	CO_2	20,42	557,39	297,6	2,0
	Deadwood	CO_2	1,48	3,19	74,6	0,0
	SOM	N_2O	5,86	15,56	132,9	0,0
	Mineral soils	CO_2	25,84	67,94	20,4	0,0
	Organic soils	CO_2	0,53	236,69	78,3	0,0
	Organic soils	CH_4	0,09	57,78	83,7	0,0
	Organic soils	N_2O	0,03	7,92	261,2	0,0
KP 3.3 Deforestation	Above-ground biomass	CO_2	127,29	453,05	32,2	0,0
	Below-ground biomass	CO_2	22,79	2,16	33,0	0,0
	Litter	CO_2	98,58	394,50	6,9	0,0
	Dead wood	CO_2	9,78	41,70	46,1	0,0
	SOM	N_2O	1,90	12,40	172,9	0,0
	Mineral soils	CO_2	14.879,68	15.693,32	52,6	49,1
	Organic soils	CO_2	2.588,15	2.466,91	24,2	0,3
	Organic soils	CH_4	32,66	31,10	110,0	0,0
	Organic soils	N_2O	343,03	327,07	120,4	0,1
	Above-ground biomass	CO_2	5.953,11	24.910,46	10,4	4,8
KP 3.4 Forest Management	Below-ground biomass	CO_2	622,73	4.432,87	14,0	0,3
	Litter	CO_2	97,89	489,94	470,4	3,8
	Dead wood	CO_2	1.459,13	3.719,50	24,8	0,6
	Forest fires	CH_4	6,77	1,81	81,7	0,0
	Forest fires	N_2O	4,46	1,20	56,3	0,0
	SOM	N_2O	0,00	1,00	0,0	0,0
	Mineral soils	CO_2	1.349,04	4.312,40	2,1	0,0
	Organic soils	CO_2	804,35	3.777,02	40,6	1,7
KP 3.4 to Cropland Management	Organic soils	CH_4	11,55	55,16	83,8	0,0
	Above-ground biomass	CO_2	531,89	327,74	248,3	1,5
	Below-ground biomass	CO_2	377,42	643,33	30,6	0,0

Source Category	Pool	Gas	Base year emissions [CO_2-eq.] kt a^{-1}	Year 2020 emissions [CO_2-eq.] kt a^{-1}	Combined uncertainty Maximalwert %	Contribution to Variance by Category in Year 2020 %
KP 3.4 Cropland Management	Mineral soils	CO_2	84,97	26,09	5,2	0,0
	Organic soils	CO_2	10.554,77	7.557,24	42,6	7,5
	Organic soils	CH_4	134,18	70,64	90,1	0,0
	Above-ground biomass	CO_2	35,58	17,28	260,9	6,3
	Below-ground biomass	CO_2	24,33	4,91	9,2	0,0
KP 3.4 total Cropland Management	SOM	N_2O	233,76	647,21	10,3	0,0
KP 3.4 to Grazing Land Management	Mineral soils	CO_2	1.937,86	8.784,71	2,0	0,0
	Organic soils	CO_2	1.654,18	4.105,71	70,9	6,1
	Organic soils	CH_4	60,22	161,31	326,2	0,2
	Above-ground biomass	CO_2	400,89	2.253,96	292,1	0,6
	Below-ground biomass	CO_2	103,29	620,82	51,7	1,0
KP 3.4 Grazing Land Management	Mineral soils	CO_2	0,00	0,00	2,2	0,0
	Organic soils	CO_2	26.032,10	22.230,10	89,2	283,6
	Organic soils	CH_4	805,44	797,25	442,0	9,0
	Above-ground biomass	CO_2	0,00	0,00	382,6	30,1
	Below-ground biomass	CO_2	0,00	0,00	36,2	0,0
KP 3.4 total Grazing Land Management	SOM	N_2O	0,14	1,22	50,8	0,0
Uncertainty total ARD / FM / CM / GM [%]:						**20,26**

11.3.1.5.1 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die Biomasse und das Totholz

Nach den in Kapitel 6.4.3.2 gemachten Angaben ergeben sich für die Kohlenstoffveränderungsrechnung der lebenden Biomasse die in Tabelle 509 angegebenen Unsicherheiten.

Für die Neuen Bundesländer konnten für den Zeitraum 1993 - 2002 keine Emissionsfaktoren für KP Afforestation/Reforestation und KP Deforestation hergeleitet werden, da diese Angaben im Datenspeicher Wald nicht vorhanden sind. Somit wurden in diesem Zeitraum die Emissionsfaktoren der Alten Bundesländer angewandt.

Tabelle 509: Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung der Biomasse für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 1987-2002, 2002-2008, 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent)

RMSE%	1987-2002 alte Bundesländer	1993-2002 neue Bundesländer	2002-2008 Gesamtdeutschland	2008-2012 Gesamtdeutschland	2012-2017 Gesamtdeutschland
Afforestation (KP 3.3)	22,99	-	45,57	23,48	35,95
Deforestation (KP 3.3)	17,42	-	22,70	23,29	27,18
Forest Management (KP 3.4)	8,76	10,05	22,17	9,52	9,10

Für die Kohlenstoffveränderungsrechnung des Totholzes ergeben sich nach den in Kapitel 6.4.3.2 gemachten Angaben die in Tabelle 510 angegebenen Unsicherheiten.

Tabelle 510: Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung des Totholzes für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent)

RMSE%	2008-2012	2012-2017
Afforestation (KP 3.3)	45,50	117,84
Deforestation (KP 3.3)	50,80	52,30
Forest Management (KP 3.4)	27,80	24,77

Die Gesamtunsicherheitenrechnung für die Kyoto-Berichterstattung findet sich in Tabelle 508 im Kapitel 11.3.1.5.

11.3.1.5.2 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Mineralboden und Streu

Nach den in Kapitel 6.4.3.3 gemachten Angaben ergeben sich für die Emissionsfaktoren von Mineralboden und und Streu die in Tabelle 511 angegebenen Unsicherheiten.

Tabelle 511: Fehlerbudget für die Emissionsfaktoren von Mineralboden und Streu, mit se = Standardabweichung des Mittelwertes; C 90, C 06 = Laborunsicherheit bei der Kohlenstoffgehaltsbestimmung BZE I und BZE II; FE = Unsicherheit bei der Bestimmung des Feinbodenvorrates

LULUCF-category	Pool	emission factor					
		se [%]	C 90 [%]	C 06 [%]	FE [%]	error total [%]	uncertainty [%]
KP Forest Management	Litter	105.9	111.2	73.4		168.9	337.8
KP Forest Management	Mineral soil	9.0	14.1	13.6	12.2	26.7	53.4

11.3.1.5.3 Schätzung der Unsicherheiten für die Holzprodukte

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten der Holzprodukte belaufen sich nach Angaben der IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) Richtlinien auf -25/+5%. Für die Emissionsfaktoren werden die in Tabelle 2.8.2 der IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) Richtlinien gelisteten Standardwerte verwendet, die keine Unsicherheiten beinhalten. Durch die fehlenden Unsicherheiten ist keine Fehlerrechnung für die Holzprodukte möglich.

11.3.1.6 Informationen über andere Methoden

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Pools der aktuellen Submission mit denen anderer Staaten verglichen. Wie in Kapitel 6.4.4.3 beschrieben, kann der Vergleich Deutschlands mit anderen Staaten nur einer pauschalen Einordnung dienen. Es wurden unterschiedliche Methoden und Ansätze verwendet, insbesondere bei der Definition von Wald und bei der Wahl der Aktivitäten unter Artikel 3.4. So wird von allen Ländern, die mit Deutschland in etwa vergleichbar sind, Waldbewirtschaftung als verpflichtende Kategorie nach Artikel 3.4 berichtet. Da sich bisher nur Deutschland, Dänemark und Großbritannien dazu verpflichtet haben, die freiwilligen Kategorien Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung zu berichten, wird für diese beiden Aktivitäten auf einen Vergleich mit anderen Staaten verzichtet.

Die Vergleichsdaten für die Kohlenstoffvorratsänderungen anderer Staaten kommen aus den Nationalen Inventurberichten der Nachbarstaaten Deutschlands und Großbritanniens. Die Emissionsfaktoren stammen aus der Submission 2021 der Länder an das Klimasekretariat der Vereinten Nationen und entsprechen dem Inventurjahr 2019. Die Vergleiche sind nach Pools unterteilt und finden sich für die Biomasse in Tabelle 512, für Totholz & Streu in Tabelle 513 und für mineralischen und organische Böden in Tabelle 514.

Tabelle 512: Kohlenstoffvorratsänderungen in lebender Biomasse (für 2019)

Land	Aufforstungen		Entwaldung		Waldbewirtschaftung	
[t C ha^{-1}]	oberirdisch	unterirdisch	oberirdisch	unterirdisch	oberirdisch	unterirdisch
Belgien	1,00	0,20	-3,46	-0,64	0,63	0,07
Dänemark	0,95	0,23	-2,75	-0,51	0,43	0,09
Frankreich	1,18	0,48	-1,53	-0,42	0,35	0,15
Großbritannien	1,38	0,46	-2,60	IE,NA	0,43	0,13
Niederlande	3,15	0,45	-2,81	-0,38	0,85	0,15
Österreich	0,98	0,27	-0,61	-0,15	0,25	0,03
Polen	0,75	0,22	-1,14	-0,26	0,77	0,20
Schweiz	0,88	0,40	-2,06	-0,63	0,49	0,10
Tschechische Republik	1,15	0,22	-1,72	-0,37	-1,34	-0,29
Deutschland	0,16	-0,06	-1,34	-0,07	0,89	0,16

Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 513: Kohlenstoffvorratsänderungen in Totholz und Streu (für 2019)

Land	Aufforstungen		Entwaldung		Waldbewirtschaftung	
[t C ha^{-1}]	Totholz	Streu	Totholz	Streu	Totholz	Streu
Belgien	NO,NA	NO,NA	-0,19	-0,05	NO,NA	NO,NA
Dänemark	0,41	0,02	-0,57	-0,05	0,45	0,07
Frankreich	0,02	0,16	-0,03	-0,20	-0,02	0,00
Großbritannien	0,15	0,07	IE,NA	-0,87	0,31	0,03
Niederlande	0,10	NO,NE	-0,08	-1,05	0,06	NO
Österreich	0,02	0,74	0,00	-0,48	0,06	NO,NE,IE,NA
Polen	NO,NA	NO,NA	-0,03	-0,30	NO,NA	NO,NA
Schweiz	0,03	-0,02	-0,14	-0,48	-0,04	0,04
Tschechische Republik	0,03	0,43	-0,07	-0,22	-0,01	NO,IE
Deutschland	0,00	0,47	-0,10	-0,92	0,09	-0,01

Quelle: (UNFCCC)

Tabelle 514: Kohlenstoffvorratsänderungen in mineralischen und organischen Böden (für 2019)

Land	Aufforstungen		Entwaldung		Waldbewirtschaftung	
[t C ha^{-1}]	Mineralischer Boden	Organischer Boden	Mineralischer Boden	Organischer Boden	Mineralischer Boden	Organischer Boden
Belgien	0,49	NO,NA	-1,11	NO,NA	NO,NA	NO,NA
Dänemark	0,18	-1,30	-0,39	-8,40	NO,NA	-1,30
Frankreich	0,04	NO,IE	-0,71	NO,IE	0,00	IE
Großbritannien	-0,62	-1,27	-1,63	0,95	0,46	0,30
Niederlande	0,01	-1,01	0,09	-2,36	NO	-0,92
Österreich	0,43	NO,NA	-0,37	NO,NA	-0,18	NO,NA
Polen	-0,09	-0,68	-1,87	1,00	0,10	-0,68
Schweiz	0,68	-0,08	-0,97	-4,50	0,00	-0,08
Tschechische Republik	0,22	NO	-0,13	NO,NA	NO,NE	NO
Deutschland	0,19	-2,57	-0,35	-5,08	0,41	-2,57

Quelle: (UNFCCC)

11.3.1.7 Das Anfangsjahr einer Aktivität, die nach 2013 begonnen hat

In Tabelle 515 finden sich die Flächengrößen der Aktivitäten nach KP 3.3, die nach 2013 begonnen haben. Die Aktivität Forest Management (KP.3.4) wird nur auf den Flächen berücksichtigt, die seit 1990 Wald sind. Demnach gibt es keine Flächen, auf denen Waldbewirtschaftung nach 2013 begonnen hat.

Tabelle 515: Flächengrößen der Aktivitäten, die nach 2013 begonnen haben

KP 3.3 Activity	Year of the onset						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Afforestation/ Reforestation [ha]	6.474	6.466	14.129	14.120	14.128	14.121	14.126
Deforestation [ha]	4.144	4.149	5.777	5.768	5.774	5.771	5.773

11.4 Artikel 3.3

11.4.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.3 am oder nach dem 1. Januar 1990 und vor dem 31.Dezember 2020 begonnen haben und direkt vom Menschen verursacht sind

Wie in Kapitel 6.3 beschrieben, erfasst das Verfahren zur Landnutzungsänderung von und zu Wald Flächenänderungen ab 1970, wobei methodisch bei der Kyoto-Berichterstattung nur die Änderungen seit 1990 eingehen. Ab der Submission 2014 flossen die Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur ein, deren Stichjahr 2012 ist. Diese bildet die Datengrundlage für das Anfangsjahr der zweiten Verpflichtungsperiode. Alle erfassten Aktivitäten liegen in dem Zeitraum zwischen dem 1. Januar 1990 und dem 31. Dezember 2020.

Jede Landnutzungsänderung von und zu Wald wird vorrangig über die Bundeswaldinventur (BWI), aber auch durch ergänzende Daten erfasst. Die Stichprobenpunkte decken rasterförmig ganz Deutschland ab. Durch die wiederholte Aufnahme der Punkte können die Veränderungen großflächig ermittelt werden. Wird ein Punkt als Wald aufgenommen, der bei der vorangegangenen Inventur als Nicht-Wald gekennzeichnet war, so repräsentiert dieser eine bestimmte aufgeforstete Fläche. Die BWI unterscheidet zwischen aufgeforstet durch Pflanzung/Saat oder durch natürliche Verjüngung. Letztere werden jedoch erst dann als *aufgeforsteter Wald* klassifiziert, wenn der Bestand ein durchschnittliches Alter von fünf Jahren erreicht hat und einen Überschirmungsgrad von mindestens 50 % aufweist (vgl. Kapitel 6.2.1).

Eine landwirtschaftlich genutzte Fläche kann von (bewirtschaftetem) Ackerland in unbewirtschaftetes übergehen und durch eine spontane Ansiedlung von Bäumen (natürliche Verjüngung) in Wald übergehen. Diese Art der Aufforstung kann gem. IPCC 2013 KP

Supplements (IPCC et al., 2014a) allerdings nur dann angerechnet werden, wenn sie „direkt vom Mensch induziert“ wurde. Es ist gute Praxis die direkt vom Mensch induzierte Flächenumwandlung zu belegen. Nach IPCC schließt der zu führende Beweis u.a. die Tatsache ein, dass eine Entscheidung zur Aufforstung oder dem Zulassen einer natürlichen Verjüngung getroffen wurde[156]. Das deutsche Recht sieht gem. § 10 (1) BWaldG vor, dass jede Erstaufforstung von Flächen einer „Genehmigung der nach Landesrecht zuständigen Behörde“ bedarf. Nach Absatz 2 bedarf es lediglich dann keiner Genehmigung, wenn für die aufzuforstende Fläche „auf Grund anderer öffentlich rechtlicher Vorschriften die Aufforstung rechtsverbindlich festgesetzt worden ist oder Erfordernisse der Raumordnung und Landesplanung nicht berührt werden“. Deutschland ist ein dicht besiedeltes und intensiv bewirtschaftetes Land, welches flächendeckend beplant wird. Es existieren unterschiedliche Planungsebenen, von großräumigen Plänen (z.B. Raumordnungsplanung) bis hin zu kleinräumigen Festsetzungen (z.B. Landschaftspläne, forstliche Betriebspläne). Die Aufstellung und Einhaltung wird von den jeweils zuständigen Behörden des Bundes, der Länder sowie der einzelnen Gemeinden überwacht. Es ist daher davon auszugehen, dass alle neuaufgeforsteten Flächen die Bedingung der „direkt vom Mensch induzierten Umwandlung“ erfüllen, da sowohl der Akt der Genehmigung, als auch rechtsverbindliche Festsetzungen und das Aufstellen von Raumordnungs- und Landschaftsplänen, eine aktive Entscheidung durch den Mensch voraussetzen.

11.4.2 Informationen über die Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung

Nach § 11 (1) BWaldG soll der Wald „im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden. Durch Landesgesetz ist mindestens die Verpflichtung für alle Waldbesitzer zu regeln, kahlgeschlagene Waldflächen oder verlichtete Waldbestände in angemessener Frist

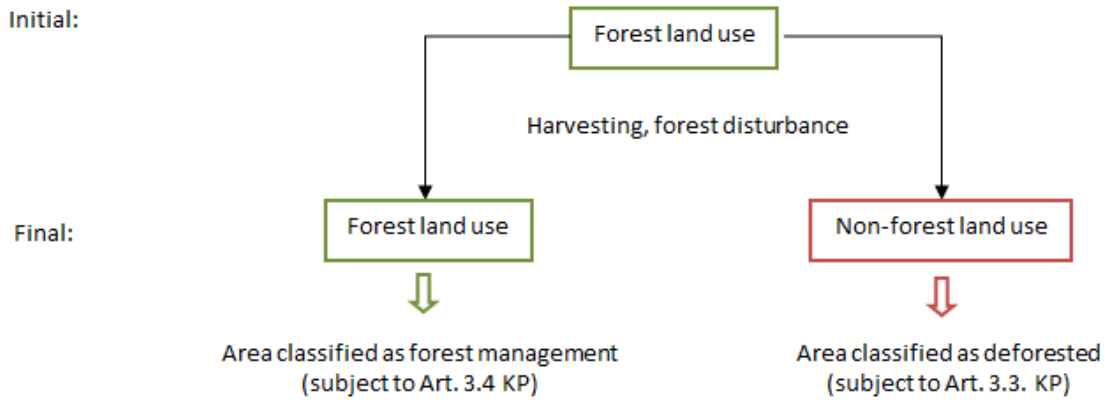
3. wieder aufzuforsten oder
4. zu ergänzen, soweit die natürliche Wiederbestockung unvollständig bleibt,

falls nicht die Umwandlung in eine andere Nutzungsart genehmigt worden oder sonst zulässig ist.“

Grundsätzlich ist danach jede Waldfläche wieder aufzuforsten, sofern sie weiterhin als Wald genutzt werden soll. Dies ist gesetzliche Vorgabe und gängige Praxis der deutschen Forstwirtschaft. Vorübergehend unbestockte Flächen fallen damit nach wie vor unter die Berichterstattung der Waldbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP. Anders verhält es sich, wenn eine unbestockte Fläche entsteht, für deren Nachnutzung Nicht-Wald vorgesehen ist. Diese Flächen sind, unabhängig davon, ob die Entwaldung durch natürliche Störereignisse oder durch menschliches Abholzen hervorgerufen wurde, als Entwaldung anzusehen, die direkt vom Mensch verursacht wurde.

[156] Vgl. IPCC 2014, Section 2.5.2

Abbildung 92: Schema zur Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung



11.4.3 Informationen über die Größe und geografische Lage von Waldgebieten, die ihre Waldbedeckung verloren haben aber nicht als entwaldet gelten

Durch Waldbewirtschaftung entstehen in Wäldern geringfügig unbestockte Flächen (Blößen). Diese betragen nach den Daten der BWI 2012 ca. 41.742 ha und haben einen Anteil von 0,36 % an der Gesamtwaldfläche. Wie bereits oben in Kapitel 11.4.2 erläutert, fallen auch diese Flächen nach wie vor unter die Walddefinition und gehen in die Berechnungen zu den Vorräten und deren Änderungen mit ein.

11.4.4 Informationen in Bezug auf Natürlichen Störungen unter dem Artikel 3.3

Wie im Kapitel 11.1.2 dargelegt, hat Deutschland die Option natürliche Störungen nicht gewählt. Auftretende natürliche Störungen werden nicht gesondert betrachtet, sondern fließen in die Veränderungsrechnungen der entsprechenden Pools mit ein.

11.4.5 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.3

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen wurde, wie in Kapitel 6.10 detailliert beschrieben, gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) mit dem Modell *WoodCarbonMonitor* (Rüter) durchgeführt.

Für Deutschland lässt sich der Holzeinschlag den beiden Aktivitäten Waldbewirtschaftung (forest management), und Entwaldung (deforestation) zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldung (Artikel 3.3) werden gemäß der Vorgaben der IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt.

11.5 Artikel 3.4

11.5.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.4 seit dem 1.Januar 1990 auftraten und vom Menschen verursacht sind

11.5.1.1 Waldbewirtschaftung

Da die Erfassung der Waldflächen, der Flächenänderungen und der durch die entsprechenden Aktivitäten verursachten Vorratsänderungen in einem integrierten Verfahren abgebildet werden, gelten für die Aktivität Waldbewirtschaftung die Aussagen entsprechend aus Kapitel 11.4.1.

Gemäß § 1 Nr. 1 BWaldG ist der „Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit

des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern".

Dem Wald werden damit drei Grundfunktionen zugeordnet, nämlich die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion, aufgrund derer seine Erhaltung und seine ordnungsgemäße und nachhaltige Bewirtschaftung zu sichern sind. Zusätzlich schreibt § 11 (1) S. 1 BWaldG vor, dass der „Wald (…) im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden (soll)." Zwar besagt die Formulierung nicht, dass Wald bewirtschaftet werden „muss", weshalb eine grundsätzliche Verpflichtung zu verneinen ist, andererseits wurde auch nicht die Formulierung „kann" gewählt, bei der eine Verpflichtung auszuschließen wäre. Die gewählte Formulierung lässt damit sehr wohl eine Grundhaltung erkennen, nämlich dass Wald bewirtschaftet werden soll. Eine Verbindlichkeit zur Bewirtschaftung von Waldflächen existiert damit für ganz Deutschland[157].

Zur Sicherung der drei Grundfunktionen soll der Wald gem. § 1 Nr. 1 i.V.m. § 11 (1) S.1 BWaldG erhalten und ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden. Die Zielvorgabe der Waldbewirtschaftung entsprechend der Marrakesh Accords (MA) deckt sich damit mit den Vorgaben des BWaldG. In beiden Fällen zielt die Bewirtschaftung darauf ab, dass der Wald seine Funktionen auf Dauer erfüllen kann.

Gemäß den MA wird Waldbewirtschaftung definiert als „a system of practices". Damit wird vorgegeben, dass die Bewirtschaftung durch Handlungen/Maßnahmen gekennzeichnet ist. Eine Waldfläche, die sich selbst überlassen wird, ohne dass irgendwelche Maßnahmen ergriffen werden, zählt damit nicht zu einer bewirtschafteten Waldfläche. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass in diesem Waldgebiet tatsächlich keine menschlichen Aktivitäten stattfinden, also kein aktiver Eingriff durch den Mensch erlaubt ist (entspricht MCPFE-Schutzkategorie 1.1). Derartige Schutzwaldflächen sind in Deutschland jedoch „praktisch nicht vertreten" (BMELV, 2009). Schutzwaldgebiete, in denen aktive Eingriffe des Menschen auf ein Minimum beschränkt zugelassen sind, sog. Totalschutzgebiete (MCPFE-Schutzkategorie 1.2), hatten 2007 einen Flächenanteil von 1,1% der Gesamtwaldfläche mit zunehmender Tendenz (BMELV, 2009). Im Vordergrund dieser Waldflächen steht der Biotop- und Artenschutz (z.B. Bannwälder, Naturwaldreservate, Kernzonen von Nationalparken und Biosphärenreservaten). Bestimmte eingreifende Maßnahmen sind jedoch ausdrücklich zugelassen (z.B. zur Brandbekämpfung, Kontrolle von Schalenwild, Krankheiten oder Insektenkalamitäten[158]). Für Schutzwälder sind wie für alle Schutzgebiete Konzepte aufzustellen, in denen der Schutzgegenstand, der Schutzzweck, die zur Erreichung des Schutzzwecks notwendigen Ge- und Verbote und die erforderlichen Pflege-, Entwicklungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen darzustellen sind[159] (z.B. in Schutzgebietsverordnungen oder Richtlinien, Vgl. z.B. § 23 (2) LWaldG MV). Weiterhin sind etwa 23% der Waldfläche Schutzgebiete, deren Schutzzweck aktiv durch Bewirtschaftungsmaßnahmen sichergestellt wird (MCPFE-Schutzkategorie 1.3), 56 % entfallen auf Wälder, deren vorrangiges Ziel der Schutz von Landschaften und spezifischen Naturelementen ist (MCPFE-Schutzkategorie 2) und 34 % mit dem vorrangigen Ziel von Schutzfunktionen (MCPFE-Schutzkategorie 3). Bei den MCPFE-Schutzkategorien 1.3 bis 3 wird

[157] Von einer Verpflichtung zur „nachhaltigen ordnungsgemäßen Bewirtschaftung" für alle Waldbesitzer sprechen Häusler und Scherer-Lorenzen (2002) in: Nachhaltige Forstwirtschaft in Deutschland im Spiegel des ganzheitlichen Ansatzes der Biodiversitätskonvention. BfN – Skripten 62, S. 5 und 15.

[158] Außerdem zugelassen sind Maßnahmen zur naturverträglichen Walderschließung für Erholungszwecke und zur naturverträglichen Forschung.

[159] Vgl. z.B. § 22 (1) BNatSchG

die Bewirtschaftung entsprechend dem Schutzzweck ausgerichtet. Diese Kategorien erfüllen damit die Vorgaben der Waldbewirtschaftung. Auch bei der Kategorie 1.2 sind menschliche Aktivitäten zur Sicherung der Schutzgebiete durchaus zulässig. Gemäß IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006b) erfüllen damit auch diese Gebiete die Vorgaben der Waldbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP: „For example forested national parks (…) where these parks are managed to fulfil relevant ecological (including biodiversity) and social functions, and are subject to forest management activities such as fire suppression, a country may choose to include these forested national parks as lands subject to forest management“[160]. Es ist zu beachten, dass die hier angegebenen Flächenanteile der Schutzwaldkategorien nicht aufaddiert werden dürfen, da sie sich z.T. überschneiden und die gleiche Waldfläche z.T. mehrfach erfasst wurde (BMELV, 2009).

Der Wald in Deutschland wird in weiten Teilen beplant. Für etwa ¾ der Waldfläche liegen nach Schätzung des BMEL forstliche Betriebspläne (Wirtschaftspläne, Betriebspläne oder -gutachten) vor (BMELV, 2009). Neben dieser betrieblichen Planung werden für den Wald zusätzlich im Rahmen der Landesplanung z.T. eigenständige forstliche Landschaftspläne (forstliche Rahmenpläne) aufgestellt[161]. Ziel der forstlichen Rahmenplanung ist es, „die für die Entwicklung der Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse notwendigen Funktionen des Waldes nach § 1 Nr. 1 (BWaldG) zu sichern“. Dies entspricht genau der Zielstellung, die auch von der IPCC Good Practice Guidance (IPCC, 2003) für die Waldbewirtschaftung vorgegeben wird. Dabei können bzw. müssen auch Maßnahmen festgelegt werden (Vgl. z.B. § 6 (3) Nr. 4 S. 2 BWaldG a.F.; Art. 6 (1) Nr. 2 BayWaldG (Waldgesetz für Bayern), § 9 (4) LWaldG Mecklenburg-Vorpommern, § 6 S. 2 NWaldLG (Niedersächsisches Wald- und Landschaftsgesetz), § 7 (1) LFoG NRW (Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen), § 6 (2) WaldG Sachsen-Anhalt[162]). Teilweise wird auch explizit vorgegeben, dass die Planung als Richtlinie u.a. für die Bewirtschaftungstätigkeit zu nutzen ist (Vgl. § 8 (3) LFoG NRW).

Alles in allem dürfte die Annahme, dass Wald in Deutschland flächendeckend die Kriterien der Waldbewirtschaftung entsprechend den Vorgaben der MA und IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) erfüllt, damit bestätigt sein.

Eine Zusammenstellung von Textausschnitten aus den Landeswaldgesetzen für die Bewirtschaftungsvorgaben von Wäldern und zu den Vorgaben der forstlichen Rahmenplanung findet sich in Steuk (2010). Die Zusammenfassung ist in Tabelle 516 zu finden.

[160] IPCC KP Supplements (2014) Kapitel 2.7.2 and IPCC 2006 Guidelines, Kapitel 2, Volume 4

[161] Die forstliche Rahmenplanung war bis 2005 im BWaldG verpflichtend vorgegeben. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausgestaltung der Planung innerhalb der Länder, wurden diese Bestimmungen jedoch gestrichen. Vgl. BMELV (2009) Waldbericht der Bundesregierung, S. 28.

[162] Festlegung von Maßnahmen in Betriebsplänen siehe § 5 (6) S. 3 LWaldG Schleswig-Holstein.

Tabelle 516: Zusammenstellung der Verpflichtung zur Waldbewirtschaftung, zur Aufstellung von Plänen und zur forstlichen Rahmenplanung aus den Waldgesetzen der Bundesländer

Bundesland	Verpflichtung zur Waldbewirtschaftung			Verpflichtung zur Aufstellung von Plänen (Wirtschafts-, Betriebspläne, Betriebsgutachten oder andere forstliche Fachplanungen)			Verpflichtung zur forstlichen Rahmenplanung
	Staatswald	Körperschaftswald	Privatwald	Staatswald	Körperschaftswald	Privatwald	
Baden-Württemberg	X	X	X	X	X	(X)	(X)
Bayern	X	X	X	X	[X]		(X)
Berlin	X	X	X				X
Brandenburg							X
Bremen	X	X	X				
Hamburg	X	X	X				X
Hessen	X	X	X	X	X	[X]	
Mecklenburg-Vorpommern	X	X	X				X
Niedersachsen	X	X	X	[X]	[X]		X
Nordrhein-Westfalen	X	X	X		X		X
Rheinland-Pfalz	X	X	X	[X]	[X]	[X]	X
Saarland	X	X	X	X	X	(X)	X
Sachsen	X	X	X	X	X		(X)
Sachsen-Anhalt	X	X	X	X	X		X
Schleswig-Holstein				[X]	[X]		
Thüringen	X	X	X	X	X	[X]	X

Legende

X Vorgabe verbindlich (einschließlich soll)

[X] Vorgabe nur unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. Mindestgröße) verbindlich

(X) Vorgabe optional / nicht verbindlich (kann)

11.5.1.2 Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung

Alle Flächen unter Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung unterliegen einmal oder mehrmals im Jahr periodischen Bewirtschaftungsmaßnahmen, so dass die Emissionen und Senken menschlichen Ursprungs sind.

11.5.2 Informationen bezüglich der Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung für das Basisjahr

11.5.2.1 Ackerlandbewirtschaftung

Die Emissionen aus Ackerlandbewirtschaftung 1990 werden dominiert von CO_2 aus organischen Böden. Kohlenstoffverluste aus Mineralböden durch die Umwandlung zu Ackerland sind ebenfalls signifikant (Tabelle 517). Das Emissionsmuster ist sehr ähnlich wie im Jahr 2020; Ausnahme: 1990 fungiert die Biomasse noch als leichte Quelle (vergl. Tabelle 488 in Kapitel 11.3.1.1.1).

Tabelle 517: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im Basisjahr 1990

Unterkategorien	C-Vorratsänderungen		CO_2 aus organischen Böden [1]	CH_4 aus organischen Böden [2]	Direktes und indirektes N_2O aus Zersatz organischer Substanz in Mineralböden [2]	Summe [2] [3]
	Biomasse [1]	Mineralböden [1]				
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH_4]	[kt N_2O]	[kt CO_2-Eq]
Ackerland bleibt Ackerland	-16,34	-23,17	-2.878,57	5,37	IE	10.833,84
Summe LUC zu Ackerland	-248,00	-367,92	-219,37	0,46	0,78	3.308,01
Summe LUC von Ackerland	0	0	0	0	0	0
Gesamt	-264,34	-391,09	-3.097,94	5,83	0,78	14.141,85

1) Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle

2) THG-Emissionen positiv: THG-Quelle; negativ: THG-Senke

3) Ohne N_2O-Emissionen aus organischen Böden; wird unter Landwirtschaft berichtet

Emissionen und Senken aus Landnutzungsänderung von Ackerland zu anderen Landnutzungskategorien werden unter Art. 3.3 (Aufforstung) und Art. 3.4 (Weidelandbewirtschaftung) berücksichtigt. Bezüglich der Treibhausgasemissionen und –senken aus Flächen, die Landnutzungsänderungen zu nicht angerechneten Aktivitäten unterliegen (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) sowie der Umsetzung der Befunde der diversen Reviews, gelten die in Kapitel 11.3.1.1.1 unter Ackerlandbewirtschaftung getroffenen Aussagen. Daher werden Emissionen von Flächen, die infolge von Landnutzungsänderungen im Zeitraum von 1990 - 2012 zu nicht gewählten bzw. anrechenbaren Aktivitäten (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) wechseln gemäß der IPCC 2013 KP Supplements, Kap. 2.9.2 (IPCC 2014) (vergl. Kapitel 11.3.1.1.1), mit 0 berichtet (Tabelle 517).

N_2O-Emissionen aus organischen Böden unter Ackerlandbewirtschaftung werden im Sektor Landwirtschaft in der Subkategorie Kultivierung von Histosolen berichtet (CRF 3.D.a.6). Direkte und indirekte N_2O-Emissionen infolge der Mineralisierung organischer Bodensubstanz von Mineralböden der Kategorie Ackerland bleibt Ackerland müssen ebenfalls im Sektor Landwirtschaft berichtet werden (CRF 3.D.a.5); in Tabelle 517 werden sie daher mit IE ausgewiesen.

11.5.2.2 Weidelandbewirtschaftung

Emissionen und Senken aus Landnutzungsänderung von Weidelandbewirtschaftung zu anderen Landnutzungskategorien werden unter Art. 3.3 (Aufforstung) und Art. 3.4 (Ackerlandbewirtschaftung) berücksichtigt. Bezüglich der Treibhausgasemissionen und –senken aus Flächen, die Landnutzungsänderungen zu nicht angerechneten Aktivitäten unterliegen (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) sowie der Umsetzung der Befunde der diversen Reviews, gelten die in Kapitel 11.3.1.1.1 unter Ackerlandbewirtschaftung getroffenen Aussagen gleichermaßen für Weidelandbewirtschaftung. Daher werden Emissionen von Flächen, die infolge von Landnutzungsänderungen im Zeitraum von 1990 - 2012 zu nicht gewählten bzw. anrechenbaren Aktivitäten (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) wechseln gemäß der IPCC 2013 KP Supplements, Kap. 2.10.2 (IPCC 2014) (vergl. Kapitel 11.3.1.1.1), mit 0 berichtet (Tabelle 518).

N_2O-Emissionen aus organischen Böden unter Weidelandbewirtschaftung werden im Sektor Landwirtschaft in der Subkategorie Kultivierung von Histosolen berichtet (CRF 3.D.a.6).

Tabelle 518 zeigt, dass die Emissionen aus Weidelandbewirtschaftung 1990 von CO_2 aus organischen Böden dominiert werden. Die Kohlenstoffsenke in Mineralböden infolge von

Landnutzungsänderungen zu Weidelandbewirtschaftung kompensiert die Emissionen nur geringfügig.

Tabelle 518: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Basisjahr 1990

Unterkategorien	C-Vorratsänderungen		CO_2 aus organischen Böden [1]	CH_4 aus organischen Böden [2]	Direktes und indirektes N_2O aus Zersatz organischer Substanz in Mineralböden [2]	Summe [2] [3]
	Biomasse [1]	Mineralböden [1]				
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH_4]	[kt N_2O]	[kt CO_2-Eq]
Weideland bleibt Weideland	NA	NA	-7.099,66	32,22	NA	26.837,54
Summe LUC zu Weideland	-137,50	528,51	-451,14	2,41	0,0005	280,85
Summe LUC von Weideland	0	0	0	0	0	0
Gesamt	-137,50	528,51	-7.550,80	34,63	0,0005	27.118,39

1) Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle

2) THG-Emissionen positiv: THG-Quelle; negativ: THG-Senke

3) Ohne N_2O-Emissionen aus organischen Böden; wird unter Landwirtschaft berichtet

11.5.3 Informationen zur Waldbewirtschaftung

11.5.3.1 Definition der Waldbewirtschaftung

Wie bereits in Kapitel 11.5.1 erläutert, sind die deutschen Wälder per Gesetz ordnungsgemäß und nachhaltig zu bewirtschaften. Bundesweite Vorgaben zur Waldbewirtschaftung finden sich im Bundeswaldgesetz (BWaldG). Dieses wird durch die Bundesländer mit eigenen Landeswaldgesetzen konkretisiert. Bei einer Gegenüberstellung der nationalen Vorgaben mit der internationalen Definition, zeigt sich dass diese vergleichbar sind.

Internationale Definition gemäß der MA[163]*:*

"Forest management" is a system of practices for stewardship and use of forest land aimed at fulfilling relevant ecological (including biological diversity), economic and social functions of the forest in a sustainable manner;

Übersetzung: „Waldbewirtschaftung „ ist ein System von Praktiken für die Behandlung/Pflege und Nutzung des Waldes, darauf abzielend relevante ökologische (einschließlich der biologischen Vielfalt), wirtschaftliche und soziale Funktionen des Waldes in nachhaltiger Weise zu erfüllen;

Nationale Definitionen nach dem BWaldG und den Landeswaldgesetzen (LWaldG):

Gem. § 1 Nr. 1 BWaldG ist der Zweck des Gesetzes insbesondere, „den Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner (…) (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern". Nach § 11 (1) S. 1 BWaldG soll der Wald „im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden." Aufgrund der eingeschränkten Gesetzgebungskompetenz des Bundes, gibt dieser hier lediglich einen Rahmen vor, der dann durch die Bundesländer entsprechend umzusetzen und zu konkretisieren ist (Vgl. § 5 und § 11 (1) S. 2 BWaldG). Somit legen die Länder fest, was unter einer ordnungsgemäßen und nachhaltigen Forstwirtschaft zu verstehen ist. Eine Zusammenstellung der relevanten Abschnitte aus den Landeswaldgesetzen findet sich in Steuk (2010).

[163] Paragraph 1 (f) des Annex A der Decision 16/CMP.1

Die Vorgaben zur Waldbewirtschaftung nach den Landeswaldgesetzen sind mit den internationalen vergleichbar. Die Bestimmung, dass Wald unter Erfüllung ökologischer (einschließlich der biologischen Vielfalt), wirtschaftlicher und sozialer Funktionen in nachhaltiger Weise bewirtschaftet werden soll[164], lässt sich von der Aussage her in jedem Landesgesetz finden. Synonym für die ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen werden in Deutschland oftmals Schutz-, Nutz- und Erholungsfunktion verwendet[165](siehe Tabelle 519). Findet sich der Wortlaut der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen, die bei der Bewirtschaftung sicherzustellen sind, nicht explizit nochmal im Text des Landesgesetzes, so findet sich jedoch der Zusatz „im Rahmen seiner Zweckbestimmung“[166]. Der Wald ist danach also im Rahmen seiner Zweckbestimmung nachhaltig zu bewirtschaften. Damit wird auf § 1 BWaldG verwiesen (Gesetzeszweck), der sich wortgleich in jedem Landeswaldgesetz wiederfindet. § 1 Nr. 1 BWaldG legt wiederum fest, dass der Wald insbesondere, „wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner (…) (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten“ ist. Die Zielstellung zur Sicherung der wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Funktionen findet sich damit flächendeckend in den Gesetzestexten wieder. Auch das Erfordernis der Nachhaltigkeit wird sowohl durch das BWaldG, als auch durch die Landesgesetze erfüllt.

Tabelle 519: Gegenüberstellung der Waldfunktionen nach dem Bundeswaldgesetz und nach IPCC

Waldfunktionen nach BWaldG	Waldfunktionen nach MA
Nutzfunktion	Wirtschaftliche Funktionen
Schutzfunktion	Ökologische Funktionen
Erholungsfunktion	Soziale Funktionen

11.5.3.2 Umwandlung von natürlichen Wäldern (Natural Forest) zu Gepflanztem Wald (Planted Forest)

Alle deutschen Wälder werden im Sinne des Kyoto Protokolls als Teil des Planted Forest definiert (vgl. Annex 4A.1, Chapter 4, Volume 4, IPCC (2006b)). In diesem Sinne fallen unter diese Definition alle Wirtschaftswälder, Plantagen, gepflanzten Bestände und Waldflächen, die nach einem Bewirtschaftungsplan unter Schutz gestellt wurden (siehe Kapitel 11.5.1.1). Waldflächen ohne Bewirtschaftungskonzept kommen in Deutschland nicht vor. Auch Primärwald laut Definition gibt es nicht, bzw. ist nicht flächenrelevant (Krismann & Hennenberg, 2012).

Aus den oben angeführten Gründen gibt es in Deutschland keine Umwandlung von natürlichen Wäldern (Natural Forest) zu Waldplantagen (Planted Forest).

11.5.3.3 Forest Management Reference Level (FMRL)

Gemäß dem Beschluss 2/CMP.6 (Cancun Agreements) sollen anthropogene Treibhausgasemissionen aus Quellen und Senken, die sich aus Waldbewirtschaftung unter Artikel 3.4 in der zweiten Verpflichtungsperiode ergeben gegen das Forest Management Reference Level (FMRL) angerechnet werden. Das FMRL beinhaltet einen Wert, der die durchschnittlichen jährlichen Netto-Emissionen von Waldbewirtschaftung in der zweiten Verpflichtungsperiode aus historischen Daten und politischen Entscheidungen projiziert.

Gemäß KP Supplement, Chapter 2.7.5.2, Box 2.7.3 wurde der Ansatz 1a für die Berechnung gewählt. Dies beinhaltet eine modellierte Projektionen unter einem „Business-as-usual“-

[164] Vgl. Art. 4 Nr. 1 BayWaldG; § 1a LFoG NRW; sinngemäß auch § 6 (1) LWaldG RLP; sinngemäß auch § 18 (1) i.V.m. § 19 (1) S. 2 ThürWaldG.

[165] Vgl. § 1 Nr. 1 BWaldG; § 13 LWaldG BW; § 11 (2) Nr. 1 LWaldG B; § 4 (2) LWaldG Bbg; § 5 (1) BremWaldG, § 6 (1) HeFoG; § 6 (1) Nr. 1 LWaldG MV; § 11 (1) NWaldLG; § 5 (1) LWaldG SH.

[166] Vgl. § 6 (1) LWaldG Ha; § 11 (1) LWaldG SL; § 17 SächsWaldG; § 4 (1) WaldG LSA; § 18 (1) ThürWaldG.

Szenario. Dabei wurden Daten aus den Waldinventuren kombiniert mit dem zukünftigen Holzeinschlag, um mit dem Modell WEHAM die zukünftige Waldbewirtschaftung zu projizieren.

Für Deutschland wurde ein FMRL von -22.418 kt CO_2-Eq. pro Jahr gemeldet. Die im Jahr 2011 eingereichten Dokumente zum FMRL und den dazugehörigen Reviewbericht finden sich auf der UNFCCC-Webseite[167]. Diese beinhalten die methodische Beschreibung für die Erstellung des FMRL.

Angaben zu den erhobenen Holzeinschlag für die Periode 1999 bis 2008 finden sich im Kapitel 6.4.2.2.1. Der Holzeinschlag in der Verpflichtungsperiode 2013 bis 2020 wurde in dem eingereichten Dokument "Submission of information on forest management reference levels by Germany" dargestellt. Die in dem Review des FMRL geforderten weiterführenden Information auch in Bezug auf Weham wurden als Background Paper "The German Reference Level for FM" veröffentlicht (IPCC, 2014). Darüber hinaus finden sich Informationen zu WEHAM und den verwendeten Daten und Annahmen inkl. Holzeinschlag bei {Schmitz et al. (2016)}, Bösch et al. (2016) und {Rock et al. (2013)}.

11.5.3.4 Technische Korrektur des FMRL

Die IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a) verlangen eine technische Korrektur (TK) des FMRL, wenn sich methodische Änderungen bei der Berechnung der Zeitreihen ergeben, neu zugängliche oder korrigierte historische Daten zur Verfügung stehen oder Pools in der aktuellen Berichterstattung berücksichtigt werden, die noch nicht in der ursprünglichen FMRL-Berechnung berücksichtigt werden konnten.

Das bisherige FMRL, welches 2011 an das UNFCCC-Sekretariat und die EU gemeldet wurde, beruht für die Kohlenstoffvorräte der lebenden Biomasse auf den Daten der Inventurstudie 2008 und für die Projektion auf dem Waldbewirtschaftungsszenario der Waldentwicklungs- und Das bisherige FMRL, welches 2011 an das UNFCCC-Sekretariat und die EU gemeldet wurde, beruht für die Kohlenstoffvorräte der lebenden Biomasse auf den Daten der Inventurstudie 2008 und für die Projektion auf dem Waldbewirtschaftungsszenario der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung WEHAM. Für die Pools tote Biomasse (Streu, Totholz) und Böden, sowie für Emissionen aus Düngung, Entwässerung und Verbrennen von Biomasse (Waldbrand) lagen keine landesspezifischen Emissionsfaktoren vor oder wurden nicht erfasst. Kohlenstoff in Holzprodukten (HWP) wurde nicht konsistent zur Entscheidung 2/CMP.7 und dem nach Abgabe des FMRL beschlossenen KP Supplement bilanziert. Das bisher verwendete Referenzlevel enthält somit nicht alle Quellgruppen und sonstige Emissionen, die aktuell nach den derzeitigen Regeln der THG-Berichterstattung zu KP 3.4 berichtet werden und damit auch Teil der Anrechnung sind. Weitere Empfehlungen bezüglich der Korrektur kommen aus dem „Report of the technical assessment of the FMRL submission of Germany submitted in 2011“ (FCCC/TAR/2011/DEU). Deutschland hat deshalb in der Submission 2019 eine technische Korrektur des FMRL durchgeführt.

Seit der Submission 2019 wurden weitere methodische Verbesserungen vorgenommen und Daten aktualisiert, die Änderungen für Zeitreihen vor 2009 nach sich ziehen. Beispielsweise wurde für die Erstellung der Landnutzungsmatrix (LUM) eine erweiterte Methode eingeführt. Für die Holzprodukte wurden die Aktivitätsdaten (FAO-Daten) ab 1995 aktualisiert. Außerdem wurde im Sommer 2021 vom IPCC ein Review des FMRL und der Technischen Korrektur durchgeführt (KP-LULUCF FM, CP2 checklist for all KP Parties). Die empfohlenen Änderungen wurden berücksichtigt und erfordern ebenfalls eine Technische Korrektur. In Tabelle 538 sind

[167] UNFCCC AWG-KP: Forest management reference levels http://unfccc.int/bodies/awg-kp/items/5896.php

alle Änderungen zusammengefasst. Deshalb erfolgt in der aktuellen Submission 2022 eine technische Korrektur des FMRL.

Alle unten aufgeführten und abgeleiteten Daten bauen auf den Ergebnissen der Submission 2022 auf.

Tabelle 520: Verbesserungen und Veränderungen im Treibhausgasinventar seit 2011, die eine technische Korrektur des Forest Management Reference Level nach sich ziehen

Speicher/THG Quelle	Relevante Änderung	Notwendigkeit einer technischen Korrektur
Aktivitätsdaten	Erweiterte Methode zur Herleitung der LUM	Änderungen der Aktivitätsreihen
Lebende Biomasse im Wald	BWI 2012	Neuer Modellauf von WEHAM mit den Daten der BWI 2012, aber mit den Politiken vor 2009[168], bedingt auch Neuberechnung von HWP
	Neue Parameter für Wachstumsfunktion	
	Neue Biomassefunktionen	
Boden / Streu	Bodenzustandserhebung (BZE) Wald (landesspezifische Emissionsfaktoren)	Anpassung an THG-Inventurmethoden und Faktoren
Totholz	BWI 2012 (Gesamtaufnahme, angepasste Aufnahmeschwelle)	
HWP	BWI 2012 (Projektion Holzeinschlag)	Neuer Modellllauf WEHAM
	Kein Holz aus Entwaldung	Methodische Vorgaben durch IPCC KP Supplement erst ab dem Jahr 2014 verfügbar
	Neue Aktivitätsdaten und Umrechnungsfaktoren	
Andere	Geringfügige Änderungen	Geringfügige Anpassungen möglich

Für die TK wurde das FMRL für die zu berichtenden Pools bzw. Quellen mit den in Tabelle 521 angegebenen Methoden berechnet. Dabei wird zwischen den Aktivitätsdaten (AD) und den Emissionsfaktoren (EF) unterschieden. Für die EF wurde in Abhängigkeit einer konservativen Schätzung entweder der Mittelwert oder Trend verwendet (siehe auch Krug et al. (2011)). Die verwendte Zeitspanne 1999-2008 wurde wie bei der Erstellung des FMRL gewählt und somit nicht geändert.

[168] Siehe FCCC/TAR/2011/DEU

Tabelle 521: Verwendete Methoden für die Technische Korrektur des FMRL nach Pools bzw. Quellen

Pool / Quelle	Fläche (AD) / Emissionsfaktor (EF)	THG	Methode FMRL – TK (2013-2020)
Mineralischer Boden	AD	C	Fortschreibung Änderung von 2012
Organischer Boden	AD	C / CH_4 / N_2O	Fortschreibung Änderung von 2012
Mineralischer Boden	EF	C	Mittelwert 1999-2008
Organischer Boden	EF	C	Mittelwert 1999-2008
Organischer Boden	EF	CH_4	Mittelwert 1999-2008
Organischer Boden	EF	N_2O	Mittelwert 1999-2008
Oberirdische Biomasse	EF	C	Modellierung mit WEHAM 2012, Lauf 23
Unterirdische Biomasse	EF	C	Modellierung mit WEHAM 2012, Lauf 23
Streu	EF	C	Mittelwert 1999-2008
Totholz	EF	C	Mittelwert 1999-2008
Waldbrand	AD	CO_2 / CH_4 / N_2O	Mittelwert 1999-2008
Waldbrand	**EF**	CO2	Trend 1999-2008
Waldbrand	EF	CH_4	Trend 1999-2008
Waldbrand	EF	N_2O	Trend 1999-2008
HWP	**AD /EF**	C	Modellierung mit WoodCarbonMonitor (inkl. WEHAM 2012, Lauf 23)

Die daraus resultierenden Projektionswerte für die Emissionen von 2013 bis 2020 finden sich zusammengefasst in Tabelle 522. Weitere Einzelheiten zu den verwendeten Daten und Methoden in Bezug auf die Pools und Quellen finden sich in den folgenden Unterkapiteln.

Tabelle 522: Projektionswerte für die Emissionen nach Pools/Quellen von 2013 bis 2020

Pool	THG	Einheit	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mineralischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	-15.745	-15.739	-15.733	-15.725	-15.717	-15.709	-15.701	-15.693
Organischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	2.494	2.492	2.490	2.485	2.481	2.476	2.471	2.467
Organischer Boden	CH_4	kt CO_2-Eq.	31	31	31	31	31	31	31	31
Organischer Boden	N_2O	kt CO_2-Eq.	331	330	330	329	329	328	328	327
Oberirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	6.669	6.667	6.664	6.660	6.657	9.833	9.828	9.823
Unterirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	787	787	787	786	786	502	502	502
Streu	CO_2	kt CO_2-Eq.	492	492	491	491	491	491	490	490
Totholz	CO_2	kt CO_2-Eq.	-1.977	-1.976	-1.975	-1.974	-1.973	-1.972	-1.971	-1.970
Waldbrand	CH_4	kt CO_2-Eq.	2	2	2	2	2	2	2	2
Waldbrand	N_2O	kt CO_2-Eq.	1	1	1	1	1	1	1	1
Waldbrand	CO_2	kt CO_2-Eq.	25	25	26	26	26	26	26	26
SOM_Mineralischer Boden	N_2O	kt CO_2-Eq.	0	0	0	0	0	0	0	0
Mineralischer Boden	N_2O	kt CO_2-Eq.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Mineralischer Dünger	N_2O	kt CO_2-Eq.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Holzprodukte (HWP)	CO_2	kt CO_2-Eq.	-12.007	-11.436	-10.963	-10.562	-10.213	-9.903	-8.675	-8.523
Total	alle	kt CO_2-Eq.	-18.896	-18.324	-17.850	-17.449	-17.101	-13.894	-12.667	-12.518

Für die Technische Korrektur des FMRL muss das neue FMRL berechnet werden. Dies ergibt sich aus der Summe aller Emissionen von 2013-2020 aus Tabelle 522, geteilt durch die Anzahl der Jahre. Wird nun die Differenz zwischen dem alten und neuen FMRL gebildet, ergibt sich der Wert für die Technische Korrektur. Die Ergebnisse sind in Tabelle 523 dargestellt.

Tabelle 523: Ergebnisse der Technischen Korrektur des Forest Management Reference Levels

	Total 2013-2020 [kt CO_2-Eq.]	Mittelwert 2013-2020 [kt CO_2-Eq.]
FMRL neu	-128.699	-16.087
FMRL alt	-179.344	-22.418
Technische Korrektur		6.331

AD Mineralischer und Organischer Boden

Die Herleitung der Flächen wird ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben. Es wird zwischen den Flächen mineralischer und organischer Böden unterschieden. Für die Projektion der Landflächen ab 2013 bis 2020 wird angenommen, dass sich die Flächen entsprechend den

Änderungen der letzten Jahre weiterentwickeln. In der Berichterstattung sind die Flächenänderungen für die Periode 2013-2016 in Tabelle 360 in Kapitel 6.3.5 zu finden. Diese jährlichen Änderungen werden auch für den Projektionszeitraum 2013 bis 2020 angenommen.

EF Mineralischer Boden und Streu

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im mineralischen Boden und der Streu werden die Daten der Bodenzustandserhebung verwendet (siehe Kapitel 6.4.2.4 und Kapitel 6.4.2.5). Aufbauend auf die Berichterstattung 2022 werden die selben EF verwendet und somit ein mittlerer Emissionsfaktor der Zeitspanne 1999 bis 2008 berechnet.

EF Organische Böden

Im Wald werden aus organischen Böden CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen berichtet. Außerdem werden die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben erfasst, sowie die Kohlenstoffverluste mit der gelösten organischen Substanz (DOC) (siehe auch Kapitel 6.1.2.2). Für die Projektion von 2013 bis 2020 im Rahmen des FMRL wird für alle drei Treibhausgase der Trend von 1999 bis 2008 fortgeschrieben.

EF Biomasse

Die Bestimmung der lebenden Biomasse für das FMRL erfolgt mit dem Modell WEHAM. Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) schätzt auf Grundlage der Bundeswaldinventur, wie sich der Wald angesichts der Ausgangslage entwickeln und mit welchem potenziellen Rohholzaufkommen gerechnet werden kann. Darauf aufbauend wird der Kohlenstoffgehalt in der oberirdischen und unterirdischen Biomasse geschätzt (siehe auch Kapitel 6.4.2.2). Als Ausgangsdaten fließen die Daten der Bundeswaldinventur 2012 und für das Bewirtschaftungsszenario die Daten von 2003 (Archiv: WEHAM 2012, Lauf 23) ein. Dies entspricht den Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), keine Politiken nach 2009 in die Projektion einfließen zu lassen. Der aus dem Lauf projezierte Holzeinschlag und der tatsächliche Holzeinschlag für die Verpflichtungsperiode ist in Tabelle 524 zu finden. Der Vergleich zeigt, das der aus den Politiken vor 2009 projizierte Holzeinschlag wesentlich höher als der tatsächliche Holzeinschlag ist (siehe auch Kapitel 11.5.3.7). Weiterführende Informationen zu WEHAM finden sich in {Krug et al. (2011)}, (Bösch et al.), {Schmitz et al. (2016)} und {Rock et al. (2013)}.

Tabelle 524: Mit Weham projizierter Holzeinschlag (Rohholzpotenzial) und tatsächlicher Holzeinschlag in der Verpflichtungsperiode 2013-2020

Jahr	Rohholzpotential Weham [m^3]	Tatsächlicher Holzeinschlag [m^3]
2013	111.725.742	88.437.913
2014	111.725.742	90.311.720
2015	111.725.742	92.359.096
2016	111.725.742	86.775.816
2017	111.725.742	88.860.454
2018	109.617.402	102.818.969
2019	109.617.402	109.460.301
2020	109.617.402	122.413.960

EF Streu

Die Streu wird, wie in dem Unterkapitel Mineralischer Boden beschrieben, mit dem Modell Yasso zusammen mit dem mineralischen Boden geschätzt. Die Ergebnisse für die Streu werden nicht separat, sondern zusammen mit denen des mineralischen Boden angegeben. Deshalb ist in der Tabelle 522der Notation Key IE (included elsewhere) angegeben.

EF Totholz

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Totholz werden die Daten der Bundeswaldinventuren verwendet (siehe Kapitel 6.4.2.3). Aufbauend darauf wird für die Projektion ab 2013 angenommen, dass sich die Totholzvorräte nicht wesentlich ändern und ein mittlerer Emissionsfaktor der Zeitspanne 1999 bis 2008 berechnet.

AD und EF Waldbrand

Die Herleitung der Waldbrandemissionen werden im Kapitel 6.4.2.7.5 beschrieben. Aufgrund der klimatischen Lage Deutschlands und der Maßnahmen zur Vorbeugung von Waldbränden sind Waldbrände ein eher seltenes Ereignis. Es wird angenommen, dass es zukünftig zu keinen Veränderungen bei den Waldbrandereignissen kommt. Deshalb wird ab 2013 eine durchschnittliche Waldbrandfläche des Zeitraumes 1999 bis 2008 und für die Emissionsfaktoren der Treibhausgase CO_2, N_2O und CH_4 der Trend des Zeitraumes 1999 bis 2008 angenommen.

AD und EF Holzprodukte

Für die Berechnung des Referenzwertes des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten wird das Modell WoodCarbonMonitor eingesetzt. Das Modell berechnet unter Berücksichtigung verschiedener Ausgangsdaten und Methoden den Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten von 2013 bis 2020. Ein wichtiger Eingangsdatensatz sind die Holzeinschlagszahlen, die ebenfalls mit WEHAM (siehe Unterkapitel Biomasse) hergeleitet werden. Eine umfassende Beschreibung des verwendeten Modelles findet sich in Rüter (2017).

11.5.3.5 Ermittlung des FM CAP

Das FM CAP wird gemäß DEC 6/CMP.9, Absatz 12 festgelegt. D.h. die Berechnung basiert auf den Emissionen des Basisjahrs, die in dem bis zum 15. April 2015 fälligen Jahresbericht über das nationale Treibhausgasinventar gemeldet wurden und wird für den zweiten Verpflichtungszeitraum (351.007,813 kt CO2 eq.) festgelegt.

11.5.3.6 Informationen zur Abbrechnung unter dem Kyoto-Protokoll

Werden die Emissionen des Forest Management Reverence Level (FMRL) denen der Treibhausgasberichterstattung (GHG) gegenübergestellt, so ist die Einbindung für alle Jahre im FMRL kleiner als in der Berichterstattung (siehe Tabelle 525). Dies führt in der Anrechnung zu Gutschriften. Ursache hierfür ist vor allem die projizierte Biomasse. Die politischen Rahmenbedingungen vor 2009 beinhalteten einen hohen Holzeinschlag, der durch eine hohe Holznachfrage verursacht wurde. Diese Rahmenbedingungen wurden in dem Modell Weham angenommen und eine Modellierung in die Zukunft durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen einen Kohlenstoffverlust in der Biomasse. Tatsächlich änderten sich die politischen Bedingungen. Dies führte zu einer Reduzierung des Holzeinschlags und es wurde Kohlenstoff in der Biomasse gespeichert. Da die Menge der Holzentnahme auch Einfluss auf die Holzprodukte hat, unterscheiden sich die Emissionen ebenfalls zwischen dem FMRL und der Berichterstattung. Allerdings ist der Effekt gegenläufig - es wird mehr Kohlenstoff beim FMRL als bei der Berichterstattung gespeichert. Größere Unterschiede gibt es auch beim Pool Totholz. Dort wird im FMRL durch die hohe Nutzung und der fast vollständigen Entnahme des Holzes von weniger Totholz ausgegangen. Alle andere Pools unterscheiden sich nicht oder nur sehr gering zwischen FMRL und Berichterstattung.

Tabelle 525: Gegenüberstellung der Emissionen [kt CO2-äqui.] des Forest Management Reverence Level (FMRL) und der Treibhausgasberichterstattung (GHG) unterteilt nach Pools für die Verpflichtungsperiode 2013-2020

	Pool	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
FMRL	Mineralischer Boden	-15.745	-15.739	-15.733	-15.725	-15.717	-15.709	-15.701	-15.693
GHG	Mineralischer Boden	-15.745	-15.739	-15.733	-15.725	-15.717	-15.709	-15.701	-15.693
FMRL	Organischer Boden	2.856	2.854	2.851	2.846	2.841	2.835	2.830	2.825
GHG	Organischer Boden	2.856	2.854	2.851	2.846	2.841	2.835	2.830	2.825
FMRL	Biomasse	7.456	7.454	7.451	7.447	7.443	10.336	10.330	10.325
GHG	Biomasse	-46.572	-45.610	-44.561	-47.347	-46.273	-39.232	-35.874	-29.351
FMRL	Streu	492	492	491	491	491	491	490	490
GHG	Streu	492	492	491	491	491	491	490	490
FMRL	Totholz	-1.977	-1.976	-1.975	-1.974	-1.973	-1.972	-1.971	-1.970
GHG	Totholz	-3.733	-3.732	-3.731	-3.729	-3.727	-3.725	-3.723	-3.720
FMRL	Waldbrand	29	29	29	29	29	29	29	29
GHG	Waldbrand[169]	2	1	4	2	3	19	22	3
FMRL	Holzprodukte	-12.007	-11.436	-10.963	-10.562	-10.213	-9.903	-8.675	-8.523
GHG	Holzprodukte	-2.712	-3.289	-2.229	-2.303	-3.138	-8.651	-6.067	-8.651
FMRL	Total	-18.896	-18.324	-17.850	-17.449	-17.101	-13.894	-12.667	-12.518
GHG	Total	-65.411	-65.023	-62.904	-65.762	-65.517	-63.953	-58.001	-54.095

11.5.3.7 Informationen in Bezug auf Natürliche Störungen unter dem Artikel 3.4

Wie im Kapitel 11.1.2 dargelegt, hat Deutschland die Option natürliche Störungen nicht gewählt. Auftretende natürliche Störungen werden nicht gesondert betrachtet, sondern fließen in die Veränderungsrechnungen der entsprechenden Pools mit ein.

11.5.3.8 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.4

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen wurde, wie in Kapitel 6.10 detailliert beschrieben, gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) mit dem Modell WoodCarbonMonitor (Rüter) durchgeführt.

Zunächst wurde die Verfügbarkeit von Aktivitätsdaten, d.h. Daten zu Produktion und Außenhandel von Holzprodukten, geprüft (vgl. Kap. 2.8.1.1, IPCC et al. (2014a)). Nach der Berechnung der aus heimischem Einschlag stammenden Produktanteile wurde in einem zweiten Schritt (vgl. Kap. 2.8.1.2, IPCC et al. (2014a)), der in den Produkten enthaltene Kohlenstoff entsprechend der in Kapitel 6.10.2.1 beschrieben Vorgehensweise den Kyoto-Aktivitäten zu Wald unter Artikel 3, Paragraphen 3 und 4 zugeordnet. Für Deutschland lässt sich der Holzeinschlag den beiden Aktivitäten Waldbewirtschaftung (forest management), und Entwaldung (deforestation) zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldung werden gemäß der Vorgaben der IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt, so dass sich als Ergebnis der für Deutschland verfügbaren Inventurinformationen und der Gleichung 2.8.3 (IPCC et al., 2014a) die jährlichen Holzeinschlagsanteile aus der Aktivität Waldbewirtschaftung fFM(i) berechnen.

Weitere Informationen und Angaben zu den verwendeten Emissionsfaktoren und der für Deutschland durchgeführten Berechnung gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) finden sich in den Kapiteln 6.10.2.2 und 0.

[169] ohne CO2-Emissionen, diese sind in der Biomasse enthalten

Gemäß Paragraph 2(g) (Ziffern iii und iv) des Anhangs II des Beschlusses 2/CMP.8 wird zudem festgestellt, dass der Beitrag der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten in der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls in Übereinstimmung mit dem IPCC 2003 GPG (IPCC) auf Basis der Annahme einer sofortigen Emission ("instantaneous oxidation") berücksichtigt und somit weder gemeldet noch angerechnet wurde (siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 2.8.2, (IPCC et al., 2014a)).

Ein Beitrag von Holzprodukten zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen vor Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode wurde daher nicht berücksichtigt. Der jährliche Anfangswert des Kohlenstoffspeichers wurde erstmals für das Berichtsjahr 2013 gemäß der IPCC Richtlinien mit Gleichung 2.8.6 mit t0 = 1990 (siehe Kapitel 6.10.2.3) gemäß Kapitel 2.8.3 des KP-Supplement (IPCC et al., 2014a) berechnet.

11.6 Weitere Informationen

11.6.1 Hauptkategorienanalyse für Aktivitäten nach Artikel 3.3 und die gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4

Die Hauptkategorienanalyse wurde im Zusammenhang mit der Analyse für das UNFCCC-Inventar auch für die Aktivitäten nach Artikel 3.3 und die gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form im Kapitel 1.5.2 dieses Berichts zusammengestellt. Die angewendeten Verfahren, Grundlagen und Methoden hierfür sind dort beschrieben.

11.6.2 Bewirtschaftete Feuchtgebiete gemäß (EU)2018/841

Die Meldung nachstehender Daten (Tabelle 526) erfolgt im Rahmen der Berichterstattung über bewirtschaftete Feuchtgebiete gemäß der EU-Verordnung (EU) 2018/841 und erfolgt nach Artikel 7, Absatz 4.

Tabelle 526 zeigt für 2020 insgesamt eine Abnahme der Emissionen gegenüber dem Referenzzeitraum, da der Anstieg der Emissionen in den Kategorien "Bewirtschaftete Feuchtgebiete" und "von bewirtschafteten Feuchtgebieten" deutlich überkompensiert wird vom Rückgang der Emissionen in der Subkategorie "zu bewirtschafteten Feuchtgebieten".

Tabelle 526: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq.] infolge der Feuchtgebietsbewirtschaftung 2020, zusammengestellt gemäß (EU) 2018/841, Art. 7, Abs. 4

Bewirtschaftete Feuchtgebiete (Verbleibkategorie)					
Pool	THG	Einheit	Referenzzeitraum	Berichtsjahr	Saldo
			2005-2009 (1)	2020 (2)	(2) - (1)
Mineralischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	-0,15	-0,4	-0,25
Organischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	1.422,77	1.398,37	-24,4
Organischer Boden	CH_4	kt CO_2-Eq.	291,37	316,76	25,39
Organischer Boden	N_2O	kt CO_2-Eq.	31,12	28,67	-2,45
Oberirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	1,86	-11,9	-13,76
Unterirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	0,51	-5,75	-6,26
SOM Mineralboden indirekt	N_2O	kt CO_2-Eq.	0	0	0
SOM Mineralboden direkt	N_2O	kt CO_2-Eq.	0	0	0
Torf off-site	CO_2	kt CO_2-Eq.	2.181,94	2.212,98	31,04
∑	**CO_2**	**kt CO_2-Eq.**	**3.606,93**	**3.593,29**	**-13,64**
∑	**CH_4**	**kt CO_2-Eq.**	**291,37**	**316,76**	**25,39**
∑	**N_2O**	**kt CO_2-Eq.**	**31,12**	**28,67**	**-2,45**
total	∑	kt CO_2-Eq.	3.929,41	3.938,72	9,31

zu bewirtschafteten Feuchtgebieten					
Pool	**THG**	**Einheit**	**2005-2009 (1)**	**2020 (2)**	**(2) - (1)**
Mineralischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	-5,07	-5,59	-0,51
Organischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	189,50	202,77	13,27
Organischer Boden	CH_4	kt CO_2-Eq.	53,16	93,58	40,42
Organischer Boden	N_2O	kt CO_2-Eq.	3,09	3,80	0,71
Oberirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	222,32	72,25	-150,06
Unterirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	80,36	36,51	-43,85
SOM Mineralboden indirekt	N_2O	kt CO_2-Eq.	0,00	0,00	0,00
SOM Mineralboden direkt	N_2O	kt CO_2-Eq.	0,00	0,00	0,00
∑	CO_2	kt CO_2-Eq.	487,10	305,95	-181,16
∑	CH_4	kt CO_2-Eq.	53,16	93,58	40,42
∑	N_2O	kt CO_2-Eq.	3,09	3,80	0,71
total	**∑**	**kt CO_2-Eq.**	**543,35**	**403,33**	**-140,03**
von bewirtschafteten Feuchtgebieten					
Pool	**THG**	**Einheit**	**2005-2009 (1)**	**2020 (2)**	**(2) - (1)**
Mineralischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	4,07	4,25	0,18
Organischer Boden	CO_2	kt CO_2-Eq.	24,19	40,76	16,56
Organischer Boden	CH_4	kt CO_2-Eq.	1,55	1,33	-0,22
Organischer Boden	N_2O	kt CO_2-Eq.	2,38	3,74	1,36
Oberirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	-86,77	-69,78	16,99
Unterirdische Biomasse	CO_2	kt CO_2-Eq.	-30,56	-20,51	10,06
SOM Mineralboden indirekt	N_2O	kt CO_2-Eq.	0,09	0,09	0,00
SOM Mineralboden direkt	N_2O	kt CO_2-Eq.	0,39	0,40	0,00
∑	CO_2	kt CO_2-Eq.	-89,07	-45,28	43,79
∑	CH_4	kt CO_2-Eq.	1,55	1,33	-0,22
∑	N_2O	kt CO_2-Eq.	2,87	4,23	1,36
total	**∑**	**kt CO_2-Eq.**	**-84,65**	**-39,72**	**44,93**

11.7 Informationen zu Artikel 6 (JI- & CDM-Projekte / Management der ERU)

Es können gemäß Paragraph 5, Absatz 1, Satz 1 des Projekt-Mechanismen-Gesetzes[170] (ProMechG) keine Projekte im Bereich LULUCF genehmigt werden, die in Deutschland stattfinden sollen.

Die Unzulässigkeit ergibt sich aus § 5 in Verbindung mit dem Begriff der Emissionsminderung gemäß § 2 Nr. 5 ProMechG: als Emissionsminderung ist definiert „die Minderung der Emission aus Quellen, nicht hingegen die Verstärkung des Abbaus von Treibhausgasen durch Senken in den Bereichen Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft. Des Weiteren steht JI-Projekten im Wege, dass die Anwendung von JI in Deutschland Ende 2012 endete, vgl. § 5 Abs. 3 ProMechG.

12 Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten

12.1 Background information

Chapter 12 and 14 include information on the German emission trading registry. The accounting on Kyoto units and the public availability of information is described in chapter 12. Any significant changes in the national registry are reported in chapter 14.

12.2 Summary of information reported in the SEF tables

According to decision 15/CMP.1, annex, part 1, section E each Party must include information on its aggregate holdings and transactions of Kyoto units in its annual report. The information has to be reported in the Standard Electronic Format (SEF), which is an agreed format, embodied in a special report, for reporting on Kyoto units.

[170] ProMechG http://www.gesetze-im-internet.de/promechg/__5.html

The SEF for 2021 was generated on 10 January 2022 with the Union Registry software in version 13.5.2, provided by the EU commission on 1.12.2021 and the SEF application version 3.8.3, provided by the secretariat on 26.1.2018. The German SEF for 2021 contains the information required in paragraph 11 of the annex to decision 15/CMP.1 and adhere to the guidelines of the SEF. The SEF has been submitted to the UNFCCC Secretariat electronically.

12.3 Discrepancies and Notifications

15/CMP.1 annex I.E paragraph 12 List of discrepant transactions	No discrepant transactions occurred in 2021.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 13 and 14 List of CDM notifications	No CDM notifications occurred in 2021.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 15 List of non-replacements	No non-replacements occurred in 2021.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 16 List of invalid units	No invalid units exist as at 31 December 2021.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 17 Actions and changes to address discrepancies	No actions were taken or changes made to address discrepancies for the period under review.

12.4 Publicly accessible information

13/CMP.1 annex II paragraph 45 Account information	In line with the data protection requirements of Regulation (EC) No 45/2001 and the GDPR Regulation (EU) 2016/679 and in accordance with Article 77 of Commission Regulation (EU) No 2019/1122, the information on account representatives, account holdings, account numbers, all transactions made and carbon unit identifiers, held in the EUTL, the Union Registry and any other KP registry (required by paragraph 45) is considered confidential. The most up-to-date account information may be accessed via: **https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/DE/public/reports/publicReports.xhtml**
13/CMP.1 annex II paragraph 46 Joint implemention project information	The complete documentation of the JI projects is presented in the German JI project database which is accessible at the following URL. The database also contains already registered but not yet approved JI projects. https://jicdm.dehst.de/promechg/pages/project1.aspx A complete list of ERU issuance years is available at: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/project-mechanisms/ERU_table.pdf In 2021, no ERU were converted from AAU and no ERU converted from RMU were issued.
13/CMP.1 annex II paragraph 47 Unit holding and transaction information	The information requested in (a), (d), (f) and (l) is classifed as confidential due to Article 77 of Commission Regulation (EU) No 2019/1122 as well as national data protection law and therefore not publicly available. Transactions of units within the most recent five year period are also classified as confidential, therefore the transactions provided are only those completed more than five years in the past. The information requested in (b), (c), (e), (g), (h), (i), (j) and (k) is publicly available at https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/DE/public/reports/publicReports.xhtml .
13/CMP.1 annex II paragraph 48 Authorized legal entities information	The following legal entities are authorized by the Member State to hold Kyoto units:

	Legal entities authorised by Germany to hold units
AAU	Federal Government only
ERU	Each account holder
CER	Each account holder
RMU	Federal Government only
tCER	Federal Government only
lCER	Federal Government only

12.5 Calculation of the Commitment Period Reserve

Germany's Commitment Period Reserve (CPR) is calculated as 90 percent of Germany's assigned amount (3,592,699,888 tonnes CO_2 equivalent) calculated pursuant to Article 3 paragraphs 7 and 8 of the Kyoto Protocol. The initial CPR of the current commitment period did not change and is still 3,233,429,900 tonnes CO_2 equivalent (or AAU).

In accordance to Article 88 of Commission Regulation (EU) No 2019/1122 in line with Article 4 paragraph 4 Commission Regulation (EU) No 389/2013 the Union registry has to prepare for keeping the CPR. If a transfer proposal would result in an infringement of the CPR, the registry should reject it internally.

The German registry did not violate the CPR during the reported year.

12.6 KP-LULUCF accounting

The Kyoto Protocol accounting under the second commitment period started with the entering into force of the Doha amendment. Germany chose to account over the entire commitment period for emissions and removals from activities under Article 3, paragraphs 3 and 4, of the Kyoto Protocol. Tabelle 527 contains data as submitted under the Kyoto Protocol. More information is given in NIR chapter 11 and the respective NIR chapters of the LULUCF sector.

Tabelle 527: Information on accounting for activities under Articles 3.3 and 3.4 of the Kyoto Protocol

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK ACTIVITIES	NET EMISSIONS/REMOVALS											
	Base Year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total	Accounting parameters	Accounting quantity
	(kt CO2 eq)											
A. Article 3.3 activities												
A.1. Afforestation/reforestation		-621,69	-684,72	-747,93	-379,32	-467,04	-531,62	-622,84	-725,09	-4.780,25		-4.780,25
A.2. Deforestation		623,22	669,06	716,20	1.171,56	1.217,06	1.256,09	1.262,57	1.274,14	8.189,90		8.189,90
B. Article 3.4 activities												
B.1. Forest management										-500.721,28		-372.022,61
Net emissions/removals		-65.412,57	-65.023,52	-62.907,79	-65.764,11	-65.519,90	-63.972,15	-58.022,80	-54.098,45	-500.721,28		
Forest management reference level (FMRL)											-22.418,00	
Technical corrections to FMRL											6.330,67	
Forest management cap											351.007,81	-351.007,81
B.2. Cropland management	14.141,85	18.165,94	18.168,11	18.521,90	17.785,30	17.454,87	17.320,19	16.906,17	16.551,80	140.874,29		27.739,50
B.3. Grazing land management	27.118,39	23.154,96	22.930,67	21.968,59	22.231,26	21.973,40	21.277,58	20.958,23	20.465,60	174.960,29		-41.986,82

13 Informationen über Änderungen im nationalen Systems

Nach dem In-Country Review 2016 kann die institutionelle Konsolidierung des Nationalen Systems gemäß der Erfordernisse für die 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls aus den Revised UNFCCC Reporting Guidelines und der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories als abgeschlossen gelten. Der Schwerpunkt im vorliegenden Berichtszeitraum lag daher auf der Sicherung der vorhandenenen Datenströme.

Nachdem im Juli 2018 die Wirtschaftsvereinigung Stahl der Nationalen Koordinierungsstelle mitteilte, dass die keine Daten für 2017 auf Basis der geschlossenen Kooperationsvereinbarung zur Verfügung gestelltwerden können, folgten Aktivitäten der Nationalen Koordinierungsstelle und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zur Wiederherstellung des Datenströms.

Im Frühsommer 2019 stellte die Wirtschaftsvereinigung Stahl der Nationalen Koordinierungsstelle wieder Daten für die Jahre 2017 und 2018 zur Verfügung. Damit könnte die Datenlücke in den Quellgruppen 1.A.2 und 2.C.1 aus dem Vorjahr geschlossen werden. Weitere Änderungen in der Institutionalisierung des Nationalen Systems wurden in 2019 und 2020 nicht durchgeführt.

14 Informationen zu Änderungen in den Nationalen Registern

The following changes to the national registry of Germany have occurred in 2021. Note that the 2021 SIAR confirms that previous recommendations have been implemented and included in the annual report.

15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(a) Change of name or contact	No change in the name or digital contact information of the registry administrator occurred during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(b) Change regarding cooperation arrangement	There was a change in the cooperation arrangement occurred during the reported period as the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland no longer operate their registry in a consolidated manner within the Consolidated System of EU registries, CS EUR
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(c) Change to database structure or the capacity of national registry	There have been 6 new EUCR releases (versions 12.4, 13.0.2, 13.2.1, 13.3.3 , 13.5.1 and 13.5.2) after version 11.5 (the production version at the time of the last Chapter 14 submission). No changes were applied to the database, whose model is provided in Annex A. No change was required to the application backup plan or to the disaster recovery plan. No change to the capacity of the national registry occurred during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(d) Change regarding conformance to technical standards	The changes that have been introduced with versions 12.4, 13.0.2, 13.2.1, 13.3.3, 13.5.1 and 13.5.2 compared with version 11.5 of the national registry are presented in Annex B. It is to be noted that each release of the registry is subject to both regression testing and tests related to new functionality. These tests also include thorough testing against the DES and are carried out prior to the relevant major release of the version to Production (see Annex B). No other change in the registry's conformance to the technical standards occurred for the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(e) Change to discrepancies procedures	No change of discrepancies procedures occurred during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(f)	No changes regarding security occurred during the reported period.

Change regarding security	
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(g) Change to list of publicly available information	No change to the list of publicly available information occurred during the reporting period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(h) Change of Internet address	No change to the registry internet address during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(i) Change regarding data integrity measures	No change of data integrity measures occurred during the reporting period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(j) Change regarding test results	No change during the reported period.
1/CMP.8 paragraph 23 PPSR account	The PPSR account has been opened on 6.10.2020 in the Union Registry.
Annual Review report Previous Expert Review Team recommendations	The last available report (FCCC/ARR/2020/DEU published 29.4.2021) recommends in G.3, that the value used for the CPR should be consistent with the value agreed in the report to facilitate the calculation of the assigned amount (FCCC/IRR/2016/DEU). This has been addressed in 12.5.

15 Informationen zur Minimierung der negativen Einflüsse nach Artikel 3, Absatz 14

Von den meisten Maßnahmen in Deutschland werden keine direkten Auswirkungen auf Entwicklungsländern erwartet; in den übrigen Fällen werden die erwarteten Auswirkungen durchweg positiv eingeschätzt, beispielsweise durch Aufbau von technischen und Verwaltungsstrukturen für den Klimaschutz.

Auch die möglichen indirekten Effekte sind fast durchweg positiv, insbesondere durch vorteilhafte Auswirkungen auf die Energieversorgung und –preise in den Kooperationsländern. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Maßnahmen erfolgte im NIR 2016. Diese bezogen sich u.a. auf die Förderung von Biotreibstoffen, den Abbau von Steinkohlesubventionen, Politiken und Maßnahmen auf EU-Ebene, insbesondere EU-Emissionshandel und die Unterstützung von Entwicklungsländern bei der Diversifizierung ihrer Energieversorgung. Gegenüber diesen berichteten Maßnahmen haben sich aktuell keine Veränderungen ergeben.

16 Weitere Informationen

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

17 Anhang 1: Hauptkategorien des deutschen Treibhausgasinventars

Entsprechend der *2006 IPCC Guidelines* sind die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls verpflichtet, jährlich Emissionsdaten zu berechnen und zu veröffentlichen.

Diese Emissionsinventare müssen für jeden nachvollziehbar sein (Transparenz), in der Zeitreihe seit 1990 vergleichbar berechnet sein (Konsistenz), durch Anwendung der vorgeschriebenen Berechnungsmethoden international einheitlich bewertet sein (Vergleichbarkeit), alle im Berichtsland relevanten Emissionsquellen und –senken beinhalten (Vollständigkeit) und mit einer Fehlerangabe bewertet sein sowie einem permanentem internen und externen Qualitätsmanagement unterliegen (Genauigkeit).

Um die hierfür notwendigen, vielfältigen und detaillierten Aktivitäten und Ressourcen auf die wesentlichen Kategorien der Inventare konzentrieren zu können, wurde durch den IPCC die Definition einer Hauptkategorie (engl.: Key Source) eingeführt. Als solche werden Kategorien bezeichnet, die im nationalen Inventarsystem herausgehoben sind, da ihre Emissionen einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtemission der direkten Treibhausgase haben, entweder in der absoluten Höhe der Emissionen, im Beitrag zum zeitlichen Emissionstrend oder beides.

In den 2006 IPCC Guidelines sind hierzu im Kapitel 4 die für die Bestimmung der Hauptkategorien anzuwendenden Methoden festgelegt. Diese ermöglichen es, durch die Analyse des Inventars für ein Jahr (Methode 1 Level Assessment), die Analyse einer Zeitreihe der Inventarangaben (Methode 1 Trend Assessment), einer detaillierten Analyse der fehlerbewerteten Inventarangaben (Methode 2 Trend Assessment unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten), sowie einer Bewertung qualitativer Kriterien (entsprechend Kapitel 4.3.3 der 2006 IPCC GL, Vol. 4, Ch. 1) jeweils die Hauptkategorien zu identifizieren

Die Analysen nach Methode 1 sind dabei immer nach zwei Verfahren durchzuführen. In einem ersten Durchlauf werden lediglich die Emissionen – die Einbindungen in Senken bleiben hier unberücksichtigt – aus Quellen bewertet. In einem zusätzlichen Durchlauf wird dann auch der Betrag (ohne Berücksichtigung des Vorzeichens) der Emissionseinbindung in den Senken mit einbezogen. Beide Ergebnisse differieren dann erwartungsgemäß. Entsprechend den 2006 IPCC GL sind beide Ergebnisse bei der Festlegung der Hauptkategorien zu berücksichtigen.

Für die identifizierten Hauptkategorien besteht dann die Verpflichtung, für die Emissionen sehr detaillierte Berechnungsmethoden (Methode 2 oder höher), die ebenfalls in den 2006 IPCC GL vorgegeben sind, anzuwenden. Sollte deren direkte Anwendung aus den verschiedensten Gründen (z.B. die Datenverfügbarkeit für die benötigten Eingangsgrößen o.ä.) nicht möglich sein, besteht die Verpflichtung, nachzuweisen, dass durch die national angewendeten Methoden mindestens eine vergleichbare Genauigkeit im Berechnungsergebnis erreicht wird. Diese Nachweise sowie auch die insgesamt durchgeführte Hauptkategorienanalyse sind in dem jährlich zu erarbeitenden nationalen Inventarbericht zu beschreiben.

17.1 Beschreibung der Methoden zur Festlegung der Hauptkategorien

In Tabelle 6, Kapitel 1.5 werden die Ergebnisse der Hauptkategorienanalyse nach den beiden Methode-1-Verfahren (Level und Trend), dem Methode-2-Verfahren und der Bewertung qualitativer Kriterien vorgestellt. Auf die Beschreibung der zugrunde gelegten Methoden in den *2006 IPCC GL* (IPCC (2006b): Vol. 1) wird verwiesen.

17.1.1 Methode-1-Verfahren

Im Ergebnis der **Level-Analyse** werden die Kategorien als Hauptkategorien (●) festgelegt, die im Basisjahr des Kyoto-Protokolls, bzw. im aktuellen Jahr von der Menge der freigesetzten Emissionen 95 % der nationalen Gesamtemission (als CO_2-Äquivalentemission) verursachen. Die Berechnung erfolgte unter Anwendung der Formel 4.1 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 1).

Im Ergebnis der **Trend-Analyse** werden die Kategorien als Hauptkategorien (●) festgelegt, die hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung ihres Emissionsbeitrages seit dem Basisjahr zur Änderung der Gesamttreibhausgasemissionen des neuesten Jahres besonders beigetragen haben. Es spielt hierbei keine Rolle, ob durch diese Änderung eine Minderung oder Steigerung der Emissionen der Gesamtemissionen erfolgt ist. Die Berechnung erfolgte unter Anwendung der Formel 4.2 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 1).

In der folgenden Tabelle findet sich die vollständige Liste aller in der Analyse berücksichtigten Unterkategorien.

Tabelle 528: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz (vollständige Liste)

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH4	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 b, Petroleum Refining		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 b, Petroleum Refining		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 a, Iron and steel		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 a, Iron and steel		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 b, Non-ferrous metals		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 g, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 g, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 a, Domestic Aviation		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 a, Domestic Aviation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 3 b, Road Transport		CH4	-	-	-	-	-	-	●	-	-/T
1 A 3 b, Road Transport		N2O	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 A 3 c, Railways		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 c, Railways		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO2	-	●	-	●	-	-	-	-	L/-
1 A 3 d, Domestic Navigation		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 4 a, Commercial/Institutional		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 4 a, Commercial/Institutional		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 4 b, Residential		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 b, Residential		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 A 5, Other: Military		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 5, Other: Military		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 1, Solid Fuels		CH4	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 B 2 a, Oil		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 a, Oil		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 a, Oil		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 b, Natural Gas		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 b, Natural Gas		CH4	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
1 B 2 c, Venting and Flaring		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 c, Venting and Flaring		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 c, Venting and Flaring		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 A 1, Cement Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 A 2, Lime Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 A 3, Glass Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 1, Ammonia Production		CO2	●	●	●	●	●	●	-	●	L/T
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 3, Adipic Acid Production		N2O	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 5, Carbide Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 7, Soda Ash Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-134a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-227ea	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 b, Fugitive Emissions		CF4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 10, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 10, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 1, Iron and Steel Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 C 1, Iron and Steel Production		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 1, Iron and Steel Production		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 2, Ferroalloys Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 2, Ferroalloys Production		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 3, Aluminium Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 3, Aluminium Production		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 3, Aluminium Production		CF4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 C 3, Aluminium Production		C2F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 4, Magnesium Production		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 5, Lead Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 6, Zinc Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 1, Lubricant Use		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 2, Paraffin Wax Use		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 2, Paraffin Wax Use		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 3, Other		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		NF3	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		HFC-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		HFC-32	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		CF4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		C2F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		C3F8	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		c-C4F8	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		C6F14	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-125	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-134a	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-143a	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-236fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-245fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-365mfc	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C2F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C3F8	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C6F14	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		N2O	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 G, Other Product Manufacture and Use		SF6	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-134a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-245fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-365mfc	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		C10F18	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	swine	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 B, Manure Management	other animals	CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	dairy cows	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	swine	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	other animals	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	deposition	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 D, Agricultural Soils		N2O	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 G, Liming		CO2	-	-	-	-	-	-	-	●	-/T
3 H, Urea Application		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2020	Level 2020 +LULUCF	Trend 2020	Trend 2020 +LULUCF	KCA decission
3 J, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
3 J, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
4 A, Forest Land		CO2		●		●		●		●	L/T
4 A, Forest Land		CH4		-		-		-		-	-/-
4 A, Forest Land		N2O		-		-		-		-	-/-
4 B, Cropland		CO2		●		●		●		●	L/T
4 B, Cropland		CH4		-		-		-		-	-/-
4 B, Cropland		N2O		-		-		-		-	-/-
4 C, Grassland		CO2		●		●		●		●	L/T
4 C, Grassland		CH4		-		-		-		-	-/-
4 C, Grassland		N2O		-		-		-		-	-/-
4 D, Wetlands		CO2		●		●		●		●	L/T
4 D, Wetlands		CH4		-		-		-		-	-/-
4 D, Wetlands		N2O		-		-		-		-	-/-
4 E, Settlements		CO2		-		-		-		-	-/-
4 E, Settlements		CH4		-		-		-		-	-/-
4 E, Settlements		N2O		-		-		-		-	-/-
4 G, Harvested Wood Products		CO2		-		-		●		●	L/T
5 A, Solid Waste Disposal		CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 D 1, Domestic Wastewater		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
5 D 1, Domestic Wastewater		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 D 2, Industrial Wastewater		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 D 2, Industrial Wastewater		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 E, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 E, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

17.1.2 Methode-2-Verfahren

Die Hauptkategorienanalyse nach dem Methode-2-Ansatz beruht auf den Ergebnissen der aktuellen Unsicherheitenbestimmung nach Methode 1. Die Ergebnisse bestätigten in weiten Teilen die Ergebnisse der Methode-1-Hauptkategorien-Analysen. Hinzu kommen jedoch die in Tabelle 8, Kapitel 1.5.1 genannten Kategorien.

17.1.3 Bewertung qualitativer Kriterien

Deutschland führt eine Bewertung der Hauptkategorien durch die Anwendung qualitativer Kriterien durch. Die anzuwendenden Kriterien sind in Kapitel 4.3.3 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006b): Vol. 1) empfohlen und schließen eine Bewertung aufgrund des Einsatzes von Minderungstechniken, der Erwartung einer überproportionalen Zunahme der Emissionen, einer hohen Unsicherheit oder unerwartet niedriger oder hoher Emissionen einer Kategorie ein. Auf Grund dieser Kriterien können zusätzliche Kategorien als eine Hauptkategorie festgelegt werden.

In der Adipinsäureproduktion (2.B.3) wurde eine redundante Abgasbehandlungsanlage installiert. Aufgrund dessen wird es nach qualitativen Kriterien als Hauptkategorie eingestuft. 2.B.3 ist aber bereits nach Methode 1 Level und Trend eine Hauptkategorie. Unter 2.G.2 werden SF_6-Emissionen aus Schallschutzscheiben berichtet. Noch ist der Trend nicht zu erkennen, aber aufgrund der zunehmenden Entsorgung dieser Scheiben ist mit stark steigenden SF_6-Emissionen

in den kommenden Jahren zu rechnen. Deshalb ist es bereits nach den qualitativen Kriterien eine Hauptkategorie. Dies führt zu keiner Änderung da bereits 2G für SF_6 nach Methode 1 Level und Trend eine Hauptkategorie ist. Eine qualitative Wertung aufgrund hoher Unsicherheiten ist nicht erforderlich, da Deutschland eine Methode 2 Hauptkategorienanalyse für das gesamte Inventar jedes Jahr durchführt. Im Inventar fielen keine unerwartet niedrigen oder hohen Emissionen auf.

Durch die Anwendung qualitativer Kriterien werden in Deutschland keine zusätzlichen Hauptkategorien identifiziert.

Deutschland wendet alle empfohlenen Verfahren für die Ermittlung bzw. Bewertung der Quellkategorien an. Die IPCC-Guidelines schreiben vor dass 95% der Emissionen aus Quellen bzw. Einbindungen in Senken als Hauptkategorien festgelegt werden müssen. Da die Festlegung der Hauptkategorien in Deutschland durch die Kombination der Ergebnisse aller Analysenverfahren und Bewertungen erfolgt, werden insgesamt die verursachenden Aktivitäten für ca. 98 % des Inventars als Hauptkategorien identifiziert.

17.1.4 Hauptkategorien-Analyse für die Kyoto-Berichterstattung

Die folgende CRF-Tabelle NIR.3 enthält die zusammengefassten Informationen zur Hauptkategorien-Analyse der Kyoto-Berichterstattung.

Tabelle 529: KP CRF Table NIR.3: Summary Overview for Key Categories for Land Use, Land-Use Change and Forestry Activities under the Kyoto Protocol

KEY CATEGORIES OF EMISSIONS AND REMOVALS	Gas	CRITERIA USED FOR KEY CATEGORY IDENTIFICATION			Comments[4]
		Associated category in UNFCCC inventory[1] is key (indicate which category)	Category contribution is greater than the smallest category considered key in the UNFCCC inventory[2] (including LULUCF)	Other[3]	
Specify key categories according to the national level of disaggregation used[1]					
Afforestation and Reforestation					
CO_2	CO_2	Land converted to forest land	Yes	High expected growth.	The value is very close to the value in the smallest category considered key in the UNFCCC inventory. The value has increased about tenfold since 1990.
Deforestation					
CO_2	CO_2	Land converted to cropland	Yes	None	No comment
Forest Management					
CO_2	CO_2	Forest land remaining forest land	Yes	None	No comment
Cropland Management					
CO_2	CO_2	Cropland remaining cropland,Land converted to cropland	Yes	None	No comment
Grazing Land Management					
CO_2	CO_2	Grassland remaining grassland	Yes	None	No comment

(1) See section 2.3.6 of the 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol.

(2) If the emissions or removals of the category exceed the emissions of the smallest category identified as key in the UNFCCC inventory (including LULUCF), Parties should indicate YES. If not, Parties should indicate NO.

(3) This should include qualitative assessment as per section 4.3.3 of the 2006 IPCC Guidelines or any other criteria.

(4) Indicate the criteria (level, trend of both) identifying the category as key.

18 Anhang 2: Detaillierte Erläuterung der Methoden und Daten zur Berechnung von CO_2 Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen

18.1 Die Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland

Basis für die Ermittlung energiebedingter Emissionen ist die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, die von der AG Energiebilanzen (AGEB) im Auftrag des BMWi erstellt wird. Die wichtigste Datenquelle für die Energiebilanz ist das *Statistische Bundesamt. Daten zu den erneuerbaren Energieträger werden von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) ermittelt.* Schließlich ergänzen Daten der Verbände der deutschen Energiewirtschaft und Forschungsinstitute die o.g. Datenquellen. Daneben werden in der Bundesrepublik Deutschland von zahlreichen anderen Stellen energiestatistische Daten veröffentlicht, die zum Teil eine unterschiedliche Darstellung, Abgrenzung bzw. Methodik und Aggregation aufweisen.

Die vollständigen Energiebilanzen für die Jahre ab 1990 werden im Internet bereitgestellt unter:

http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0

Auf der Internetseite der AGEB ist in deutscher und englischer Sprache auch ein Vorwort zu den Energiebilanzen veröffentlicht, in dem Erläuterungen zur Struktur der Energiebilanz gegeben werden.

Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen sind (Stand: April 2021):

- Bundesverband der deutschen Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Berlin,
- Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV), Köln,
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin),
- EEFA GmbH, Münster,
- Mineralölwirtschaftsverband (MWV), Berlin,
- Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen,
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart.

Die Arbeit der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen wird außerdem unterstützt durch den Verein der Kohlenimporteure e.V., Branchenverband Steinkohle und Nachbergbau e. V. (bs|n), Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) sowie den Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK). Die Gesamtverantwortung für die Erstellung der Energiebilanzen obliegt seit dem Bilanzjahr 1994 dem DIW Berlin, seit 2002 in Kooperation mit EEFA (Energy Environment Forecast Analysis GmbH).

Die wichtigste Quelle ist die amtliche Statistik. Die verwendeten Erhebungen vom Statistischen Bundesamt sind in der Tabelle 532: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA aufgelistet. In die endgültige Energiebilanz fließen weiterhin Daten der Verbände BDEW und Deutsches Atomforum ein, sowie Daten des Gesamtverbands Steinkohle (GVSt), des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins (DEBRIV), des Mineralölwirtschaftsverbands (MWV).

Hinzu kommen in einer Reihe von Fällen, z.B. zur Darstellung des nichtenergetischen Verbrauchs seitens der chemischen Industrie, persönliche Expertenmitteilungen.

Ferner wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie festgelegt, dass beginnend mit dem Bilanzjahr 2018, die von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) unter Federführung des Umweltbundesamtes erarbeiteten energiebilanzrelevanten

Daten für die erneuerbaren Energien unmittelbar für die Energiebilanzen durch die AGEB übernommen werden. Dies schließt auch vorläufige Daten zu erneuerbaren Energieträgern mit ein, die in die Schätzbilanz und in die Auswertungstabellen einfließen.

18.2 Aufbau der Energiebilanzen

Die Energiebilanzen bieten in Form einer Matrix eine Übersicht der energiewirtschaftlichen Verflechtungen. Sie erlauben damit nicht nur Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Quellgruppen, sondern geben ebenso Auskunft über ihren Fluss von der Erzeugung bis zur Verwendung in den unterschiedlichen Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsbereichen. In der ***Aufkommensbilanz*** werden:

- die Gewinnung im Inland,
- die Einfuhr,
- die Bestandsentnahmen,
- die Ausfuhr,
- die Hochseebunkerung,
- die Bestandsaufstockungen

von Energieträgern dargestellt und zum ***Primärenergieverbrauch*** zusammen gefasst. Die Primärenergiebilanz ist Grundlage für die Berechnungen des IPCC-Referenzverfahrens (Plinke & Schonert, 2000). Maßgebend für die Emissionsinventarerstellung ist die ***Verwendungsbilanz***. Auch über die Verwendungsbilanz lässt sich der Primärenergieverbrauch ermitteln. Sie umfasst:

- die Umwandlungsbilanz
- die Fackel- und Leitungsverluste
- den Nichtenergetischen Verbrauch und
- den Endenergieverbrauch.

Unterschiede zwischen Aufkommens- und Verwendungsbilanz werden durch die Position „Statistische Differenzen“ ausgeglichen.

Die ***Umwandlungsbilanz*** als Bestandteil der Verwendungsbilanz gibt an, welche Energieträger in andere „sekundäre“ Energieträger umgewandelt werden. Der Umwandlungsausstoß zeigt das Ergebnis dieser Umwandlung. Die Umwandlung von Energie kann stofflicher Natur sein, z. B. die Umwandlung von Rohöl (Umwandlungseinsatz) in Mineralölprodukte (Umwandlungsausstoß) oder energetischer Natur, z. B. durch die Verbrennung von Steinkohlen (Umwandlungseinsatz) in Kraftwerken zur Erzeugung elektrischer Energie (Umwandlungsausstoß). Der Energieverbrauch im Umwandlungsbereich weist aus, wieviel Energie zum Betrieb der Umwandlungsanlagen benötigt wurde (Eigenverbrauch des Umwandlungsbereichs). Die Umwandlungsbilanz wird nach 12 Sektoren differenziert.

Der ***Nichtenergetische Verbrauch*** als Bestandteil der Verwendungsbilanz wird ohne Zuordnung zu Wirtschaftszweigen insgesamt ausgewiesen. Daten zum nichtenergetischen Verbrauch werden dem UBA im Rahmen einer Zusatztabelle zur Energiebilanz Deutschland aufgegliedert nach Wirtschaftszweigen regelmäßig zur Verfügung gestellt. Er beschreibt, welche Energieträger als Rohstoffe eingesetzt werden (z. B. in der Chemischen Industrie Umwandlung von Energieträgern in Kunststoffe).

Die Darstellung des Endenergieverbrauchs (nach Energieträgern u. sektoren) zeigt, in welchem Umfang Energie in den Endverbrauchersektoren in die letztlich benötigte Energie (z. B. Kraft, Licht, Raum- und Prozesswärme) umgewandelt wird (***Endenergieverbrauch***). Diese Aufgliederung umfasst die Industrie, unterteilt in 14 Wirtschaftszweige, den Verkehr, die

Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (inklusive Landwirtschaft).

Der Energiefluss in den Energiebilanzen ist dargestellt für 30 Energieträger. Diese Energieträger können den folgenden Hauptgruppen zugeordnet werden:

- Steinkohlen,
- Braunkohlen,
- Mineralöl (einschließlich Flüssiggas und Raffineriegas),
- Gase (Kokerei- u. Gichtgas, Erdgas, Grubengas, ohne Deponie- u. die o.g. Gase),
- Erneuerbare Energien (einschließlich erneuerbare Abfälle, ab 2013 auch Klärschlamm),
- Sonstige Energieträger (nichterneuerbare Abfälle, Abwärme)
- Elektrischer Strom und andere Energieträger.

- Gesamtdeutsche Energiebilanzen liegen für die Jahre ab 1990 vor (AGEB, 2003).

Ab dem Jahr 2000 wurde die Energieträgerstruktur im Bereich Erneuerbare Energien / Müll geändert: Wasser- und Windkraft incl. PV wurden zusammengefasst und Müll/Biomasse wurde in erneuerbare und nicht erneuerbare Anteile aufgesplittet. Seit dem Jahr 2003 werden in der Energiebilanz nichterneuerbare Abfälle und Abwärme auch im Endenergieverbrauch verbucht.

In der Energiebilanz werden die Energieträger in *natürlichen Einheiten* wie Tonnen (t) für feste und flüssige Brennstoffe, Kubikmeter (m^3) für Gase (außer Erdgas), Kilowattstunden (kWh) für elektrische Energie und Erdgas, Joule (J) für Abfälle, Erneuerbare Energien, Kernenergie und Fernwärme angegeben. Um die Angaben vergleichbar und additionsfähig zu machen, werden alle Werte über geeignete Umrechnungsfaktoren in die Einheit Joule (J) umgerechnet. Anders als in Gasstatistiken werden in der Energiebilanz sämtliche Gase auf den Heizwert H_i (und nicht den Brennwert, H_s) bezogen.

Gegenwärtig sind die Energiebilanzen bis 2018 veröffentlicht. Um den Bedürfnissen der Emissionsberichterstattung nach Aktualität Rechnung zu tragen, wird dem UBA von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen jährlich Ende Juni eine jeweils aktualisierte, vollständige vorläufige Energiebilanz für das Jahr x-1 für die Inventarerstellung zur Verfügung gestellt.

18.3 Methodische Aspekte: Energiebedingte Aktivitätsraten

Die im UBA erstellten Inventare für Luftschadstoffe und Treibhausgase bauen auf den von der AG Energiebilanzen erstellten Energiebilanzen für Deutschland auf. Dabei lassen sich die zur Emissionsberechnung benötigten Daten direkt aus den Energiebilanzzeilen 11, 12, 15, 16, 40, 60 sowie 65 und 68 ablesen. Für Erdgas und Heizöl leicht wird auch EBZ 14 zur Berechnung herangezogen.

Um den speziellen Anforderungen für die Emissionsberechnung gerecht zu werden und die Vollständigkeit der Daten zu gewährleisten, muss in einigen wenigen Fällen von der oben genannten Systematik abgewichen und es müssen weitere Daten ergänzt werden:

- Der emissionsrelevante Brennstoffeinsatz zur Braunkohlentrocknung muss aus der EBZ 10 herausgerechnet werden. Die genaue Beschreibung der Kategorie 1.A.1.c erfolgt im Kapitel 3.2.8.2.
- Der Erdgaseinsatz in den Kompressoren konnte für die Jahre 1995-2002 direkt aus der Energiebilanz (EBZ 33) entnommen werden. Für die Jahre 1990-1994 sowie ab dem Jahr 2003 müssen die Werte außerhalb der Energiebilanz berechnet werden. Die Beschreibung der Methode erfolgt im Kapitel zur Kategorie 1.A.3.e.

- Da die verbrannten Abfallmengen in der Energiebilanz aus systematischen Gründen bzw. unter dem Fokus der Energieerzeugung nicht über alle Jahre vollständig erfasst werden, muss auch in diesem Fall mit Hilfe der Abfallstatistik ergänzt werden. Erläuterungen dazu sind im Kapitel Kategorie 1.A.1.a sowie im Kapitel zur Kategorie 1.A.2.g Sonstige (stationär) vorhanden.
- Der Brennholzeinsatz in den Kategorien Gewerbe, Handel, Dienstleistungen wird in der Energiebilanz bis 2012 nicht ausgewiesen und muss ergänzt werden. Die Beschreibung erfolgt im Kapitel zur Kategorie 1.A.4.

Der Reduktionsmitteleinsatz zur Herstellung von Roheisen wird in der Energiebilanz z.T. als energetischer Verbrauch in der EBZ 54 und z.T. als Umwandlungseinsatz in EBZ 17 (Gichtgasäquivalent) ausgewiesen. Der Einsatz des dabei entstehenden Gichtgases zur Energieerzeugung wird in den entsprechenden Energiebilanzzeilen 11, 12, 15, 33 und 54 verbucht. Um Doppelzählungen zu vermeiden werden die in der EBZ 54 verbuchten Reduktionsmitteleinsätze aus dem Hochofen sowie das Gichtgasäquivalent nicht mit berichtet.

18.4 Unsicherheiten, Zeitreihenkonsistenz und Qualitätssicherung der Energiebilanz

Mit Einführung des Energiestatistikgesetzes im Jahr 2003 hatte sich die Datengrundlage relativ verbessert, aufgrund der Dynamik im Energiesektor wurde aber schon bald eine Novellierung des Energiestatistikgesetzes erforderlich. Mit der Novelle des Energiestatistikgesetz vom 6. März 2017 (BGBl. I S. 392) werden Verbesserungen in der statistischen Abdeckung und Aktualisierungen der Erhebungskreise vorgenommen, sowie neue Merkmale erfasst. Auch die Periodizität hat sich teilweise zugunsten der monatlichen Erhebung verschoben. Die erstmalige Erhebung erfolgt für das Erhebungsjahr 2018.

Kontinuierlich erfolgen Anpassungen im Datengerüst der Energiebilanz um bestmögliche Daten zur Verfügung zu stellen.

Diese Änderungen erfolgen in größeren Abständen und werden jeweils von der AGEB dokumentiert:

- Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 - 2006 [171]
- Anmerkungen zu den Änderungen in den Energiebilanzen 2003 bis 2007 [172]
- Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009 [173]
- Methodische Änderungen in der Energiebilanz 2012 [174]
- Erläuterungen zu den Energiebilanzen (Bearbeitungsstand November 2015) [175]

Im Oktober 2021 hat die AGEB auftragsgemäß einen Bericht zum „Revisionsbedarf in der Energiebilanz Deutschland“ erstellt. In Auswertung dieses Berichts steht voraussichtlich 2022 die nächste Revision in der Zeitreihe an.

18.4.1 Qualitätsbericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zur Erstellung der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland

Zur Dokumentation ihrer Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Erstellung der Energiebilanzen legt die AGEB seit dem Jahr 2012 dem Umweltbundesamt regelmäßig einen

[171] http://www.ag-energiebilanzen.de/#revision_der_eb_2003_bis_2006
[172] http://www.ag-energiebilanzen.de/#aktualisierungen_der_energiebilanzen_2003_bis
[173] http://www.ag-energiebilanzen.de/#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05
[174] http://www.ag-energiebilanzen.de/#methodische_aenderungen_der_eb_2012
[175] http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=vorwort.pdf

gemeinsamen Qualitätsbericht vor. Im Rahmen des neuen Auftrags, für die Energiebilanzen 2019-21 finden sich neue Akzente, die ab 2020 bei der Erstellung der Energiebilanzen Beachtung finden werden. Dazu wird als zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahme gehören, dass die Energiebilanzen in erstellt bzw. geliefert werden und Zeitreihensprünge besser als bisher bei der Datenkompilierung erkannt werden können.

Der Inhalt der aktuellen Berichte wird im Folgenden wortgetreu veröffentlicht (kenntlich über andere Schriftart).

18.4.1.1.1 Hintergrund

Im Rahmen der Treibhausgasemissionsberichterstattung hat der Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) festgelegt. Diese sind auf allen Ebenen der Inventarerstellung einzuhalten. Einer der wichtigsten Datensätze zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen sind die Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, mit deren Erstellung die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) beauftragt ist. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin), das EEFA-Forschungsinstitut, Münster und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart als Unterauftragnehmer arbeiten für die AGEB daran mit. Die Bearbeiter der Energiebilanzen sind gehalten, die Mindestanforderungen an QK/QS wie Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit zu erfüllen.

Zur Dokumentation ihrer Datenquellen und Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Erstellung der Energiebilanzen legt die AGEB dem Umweltbundesamt hiermit den aktuellen Qualitätsbericht vor. Er bezieht sich insbesondere auf die Energiebilanz 2019.

18.4.1.1.2 Arbeitsteilung bei der Erstellung der Energiebilanzen

Das DIW Berlin ist bei der Erstellung der Energiebilanzen für die folgenden Energieträger verantwortlich:

- Erdgas, Erdölgas,
- Nicht-erneuerbare Abfälle, Abwärme (50 % Siedlungsabfall in Abstimmung mit ZSW bzw. AGEE-Stat)
- Kernenergie sowie
- Erdöl (roh) und
- Mineralölprodukte (Ottokraftstoffe, Rohbenzin, Flugturbinenkraftstoffe, Dieselkraftstoff, Heizöl leicht, Heizöl schwer, Petrolkoks, Flüssiggas, Raffineriegas und Andere Mineralölprodukte).

Darüber hinaus koordiniert das DIW Berlin im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz die vierteljährlichen Schätzungen des Primärenergieverbrauchs für die Bundesrepublik Deutschland und schätzt zudem den Energieträger „Sonstiges“.

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) bearbeitet die erneuerbaren Energien für die Energiebilanzen. Hierzu gehören:

- Wasserkraft, Windenergie an Land und auf See und Photovoltaik,
- Biomasse (fest, flüssig, Biokraftstoffe, Biogas, Klärgas, Deponiegas) und erneuerbare Abfälle (Siedlungsmüll) sowie
- Sonstige erneuerbare Energieträger (Solarthermie, Tiefen- und Oberflächengeothermie).

Die erneuerbaren Energien werden auf der Grundlage der Daten und in Abstimmung mit der Geschäftsstelle der AGEE-Stat (GS AGEE-Stat) berechnet und veröffentlicht.

In den Aufgabenbereich des EEFA-Forschungsinstituts fällt die Erstellung der Energiebilanzen für die Energieträger:

- Steinkohle, Steinkohlenkoks, Steinkohlebriketts und Andere Steinkohlenprodukte,
- Braunkohle (roh), Braunkohlenbriketts, Andere Braunkohlenprodukte und Hartbraunkohle sowie
- Kokerei- und Stadtgas, Gicht- und Konvertergas sowie Grubengas,
- Strom und
- Fernwärme.

Beginnend mit dem Energiebilanzjahr 2009 wird im Rahmen der Arbeiten für die Auswertungstabellen eine Schätzbilanz erstellt. In diese fließen vor allem die Daten aus der Statistik-Nr. 066 (Erhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen der allgemeinen Versorgung) des Statistischen Bundesamtes (StBA) und Verbandsdaten beispielsweise des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) ein. Hinzu kommen Daten der amtlichen Mineralölstatistik (AMS) des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Zu diesem frühen Zeitpunkt liegen i.d.R. wichtige amtliche Datenquellen wie z. B. die Erhebungen über den Energieverbrauch der Industriesektoren noch nicht vor. Diese Datenlücken werden mit Hilfe von Schätzungen geschlossen. Die Schätzbilanz kann deshalb nicht die hohen Anforderungen an die Datenqualität erfüllen wie die endgültige Energiebilanz, die erst mit einer zeitlichen Verzögerung von etwas weniger als einem Jahr publiziert werden kann.

18.4.1.1.3 Qualität der verwendeten Datenquellen

Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland werden folgende *Daten des Statistischen Bundesamts (StBA)* verwendet:

- Jahreserhebung (Nr. 060) über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes, im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden,
- Monatserhebung (Nr. 061E) über die Einfuhr von Kohle,
- Jahreserhebung (Nr. 062) über Wärme- und Elektrizitätserzeugung aus Geothermie,
- Jahreserhebung (Nr. 063) über die Erzeugung von Biokraftstoffen,
- Jahreserhebung (Nr. 064) über Erzeugung und Verwendung von Wärme sowie über den Betrieb von Wärmenetzen,
- Monatserhebung (Nr. 066K) über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur allgemeinen Versorgung,
- Jahreserhebung (Nr. 067) über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden,
- Monatserhebung (Nr. 068) über die Gasversorgung
- Jahreserhebung (Nr. 070) über die Stromein- und -ausspeisung bei Netzbetreibern,
- Jahreserhebung (Nr. 073) über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas,
- Jahreserhebung (Nr. 075) über die Abgabe von Flüssiggas,
- Jahreserhebung (Nr. 082) über Gasabsatz und Erlöse in der Gasversorgung,
- Energiesteuerstatistik (Fachserie 14, Reihe 9.3).

Die Daten des Statistischen Bundesamtes (StBA) unterliegen amtlichen Qualitätsanforderungen. Die Qualitätsberichte des StBA können im Internet eingesehen werden:

https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Energie/einfuehrung.html [176], zuletzt aufgerufen am 01. Februar 2021.

Außerdem werden *Angaben aus der amtlichen Mineralölstatistik (AM) des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)* verwendet,

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_amtliche_daten_2019_dezember., zuletzt aufgerufen am 1. Februar 2021.

Die monatlich und jährlich publizierte AMS ist ein geschlossenes, widerspruchfreies System des gesamten Mineralölaufkommens- und -verbrauchs in Deutschland. Statistische Grundlage für die AMS ist der integrierte Mineralölbericht (IM), der auf Basis des Mineralöldatengesetzes monatlich bei Unternehmen erhoben wird, die in der Bundesrepublik auf dem Mineralölmarkt tätig sind. Das BAFA meldet diese Aufkommens- und Verbrauchsdaten zusammen mit den Daten des Statistischen Bundesamts an die IEA und Eurostat, die international vergleichbare Energiebilanzen veröffentlichen. Die Heizwerte für den Rohöleinsatz und die Ölprodukte, die für diese Meldungen genutzt werden, sind mit der nationalen Energiebilanz abgeglichen. Für die Energiebilanz werden für den Mineralölteil neben den Daten aus der AMS auch die Daten des Statistischen Bundesamts genutzt.

Die Mineralölstatistik des BAFA hat zum Januar 2018 eine Änderung erfahren, die zu Brüchen in der Zeitreihe führen. Die Änderungen werden im Folgenden erläutert:

„1) Aufnahme von Unternehmen mit Olefinanlagen in den Meldekreis

Die Ausweitung des Meldekreises auf Unternehmen mit Olefinanlagen hat im Vorjahresvergleich Auswirkungen auf die Inlandsablieferungen und den Wiedereinsatz bei folgenden Produkten:

- Rohbenzin: Rückgang bei den Inlandsablieferungen/Zunahme bei den Wiedereinsatzprodukten

- Flüssiggas: Rückgang bei den Inlandsablieferungen/Zunahme bei den Wiedereinsatzprodukten

- Benzinkomponenten: Zunahme bei der Bruttoraffinerieerzeugung/den Inlandsablieferungen

2) Inlandsablieferungen von Halbfertigprodukten

Den Firmen wird neuerdings die Möglichkeit eingeräumt, Benzin-, Mitteldestillat- sowie HS-Komponenten als Inlandsablieferungen auszuweisen. Zuvor waren die Firmen gezwungen, Halbfertigprodukte zu absatzfähigen Produkten umzuwidmen (z. B. Benzinkomponenten zu Rohbenzin), um sie als Inlandsablieferungen ausweisen zu können.“

Bezüglich des Inlandsabsatzes von Mineralölprodukten hat das BAFA jedoch keine Kenntnis darüber, in welcher Größenordnung vor dem Jahr 2018 Halbfertigprodukte zu absatzfähigen Produkten umgewidmet wurden. Wie man den Zahlen 2018 entnehmen kann, werden immer noch Produkte umgewidmet, aber der Anteil hat sich im Vergleich zu den Vorjahren stark reduziert.

Bemerkbar macht sich das in der Energiebilanz beim Energieträger Rohbenzin ab 2017. Hier ist der Umwandlungseinsatz bei den Raffinerien (Mineralölverarbeitung) von 2015 und 2016 mit 60 bzw. 124 Tausend Tonnen auf in den Jahren 2017 und 2018 auf 1309 bzw. 2012 Tausend Tonnen angestiegen.

Bei Flüssiggas macht sich das erst ab 2018 bemerkbar. Hier ist ein sprunghafter Anstieg beim Umwandlungseinsatz bei den Raffinerien von im Jahr 2017 71 Tausend Tonnen auf im darauffolgenden Jahr 595 Tausend Tonnen.

https://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloelstatistik/mineraloel_node.html, zuletzt aufgerufen am 1. Februar 2021.

[176] Das Statistische Bundesamt veröffentlicht auf ihrer Internetpräsenz ausschließlich die Qualitätsberichte nach dem neuen EnStatG 2017. Qualitätsberichte nach dem alten EnStatG sind online nicht mehr verfügbar.

Des Weiteren gibt es in der Amtlichen Mineralölstatistik (AMS) eine Änderung in der Tabelle 6j (1000 t) bei Hochseebunkerungen. In der Betrachtung der Jahre 2016 bis 2018 ergibt sich folgende Verschiebung bei den Energieträgern:

2016: Dieselkraftstoff (DK) 999, Heizöl schwer (HS) 1855, Andere Mineralölprodukte (AMP) 1

2017: DK 230, Heizöl leicht (HEL) 632, HS 1457, AMP 1

2018: HEL 734, HS 981.

Für die Energiebilanz 2018 heißt das, dass Hochseebunkerungen dann nicht mehr bei Dieselkraftstoff und HS anfallen, sondern ab dann nun bei HEL und HS.

Neben den amtlichen Daten gehen auch *Daten von Verbänden* ein. Unter den Statistiken der Verbände spielt die *Statistik der Kohlenwirtschaft* eine besondere Rolle. Für die Energiebilanz werden u.a. folgende Daten verwendet:

für die Steinkohle:

- die Statistik über den Inlandsabsatz nach Steinkohlearten und Verbrauchergruppen (ab Berichtsjahr 2019 eingestellt) und
- die Statistik über die Produktion, Einsatz in Umwandlungsbereichen und Lagerbestands-veränderungen (Vordruck 4a) (ab Berichtsjahr 2019 eingestellt).

für die Braunkohle:

- Daten über die Förderung, Herstellung, Selbstverbrauch und den Absatz (Vordruck 5) sowie Informationen aus dem Produktionsbericht,
- Daten zum Inlandsabsatz/-einsatz nach Ländern und Verbrauchergruppen.

Die Daten der Kohlenstatistik können in Deutschland als quasi amtlich und sehr genau eingestuft werden. Der Verein der Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. arbeitet seit 60 Jahren als Bindeglied zwischen den Unternehmen des Kohlenbergbaus und der amtlichen Statistik. Die Kohlendaten der amtlichen Statistik beruhen auf den Erhebungen der Statistik der Kohlenwirtschaft. Ein Großteil der Kohlendaten wird auf der Internetseite http://www.kohlenstatistik.de einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die damit verbundene Transparenz kann ebenfalls als Beleg für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit dieser Datenquellen herangezogen werden. Das Energiestatistikgesetz hat unter ausdrücklichem Hinweis auf das funktionierende System der Kohlenstatistik auf einen eigenen Paragrafen für Erhebungen zur inländischen Kohle verzichtet.

Für Erdgas, Erdölgas:

- Daten für Fackelverluste werden mit dem impliziten Heizwert vom Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V. (BVEG), vormals Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V. (WEG) ermittelt. Hier gab es mit dem Statistischen Bericht 2019 (Seite 22) eine Änderung in der Abbildung der Fackelverluste in routinemäßig, sicherheitsrelevant und nicht-routinemäßig.
- Daten für Verkehr werden durch Angaben des BDEW von Zukunft Erdgas, vormals Erdgas mobil geliefert. Die Energiesteuerstatistik liefert die Daten für diesen Sektor voraussichtlich im Mai 2021, erst dann könnten diese Daten für die Erdgasbilanz 2019 nachgetragen werden (für 2019: 1800 GWh Ho Zukunft Erdgas; im Vergleich dazu die Werte für 2018: 1600 GWh Ho und 1839,058 GWh Ho Energiesteuerstatistik vom 19.06.2020).
- Durch die Änderung des Statistischen Berichts des BVEG ist der Eigenverbrauch als prozesstechnischer Eigenverbrauch abgebildet, d.h. inklusive Verarbeitungsverluste Messdifferenzen und Fackelverluste. Für Zwecke der Energiebilanzerstellung wurde der eigentliche Eigenverbrauch vom BVEG für die Jahr 2018 bis 2020 zur Verfügung gestellt.

Darüber hinaus werden u.a. folgende *weitere Quellen* verwendet:

- Für den Holzverbrauch der privaten Haushalte werden die Ergebnisse der Erhebungsstudie von RWI/forsa fortgeschrieben.
- Der Holzverbrauch im Sektor GHD wird seit 2013 als Restglied ermittelt. Grundlage ist das gesamte Energieholzaufkommen in Deutschland, das sich aus eigenen Erhebungen und Berechnungen des Thünen-Instituts zusammensetzt.
- Das Aufkommen an Windenergie an Land und auf See sowie von Photovoltaik wird gemäß dem Mengentestat auf Basis von Wirtschaftsprüfervermerken der Übertragungsnetzbetreiber zu Stromeinspeisungen und Vergütungen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgeleitet.
- Im Rahmen des Monitorings zum Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz schätzt das Öko-Institut den Erdgaseinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung in kleinen Erdgas- und Heizöl-BHKW sowie von Heizöl leicht, die nicht von der amtlichen Statistik erfasst werden.
- Im Bereich der Biomasse-Einspeiser, der Solarthermie und der Umweltwärme wird auf Modellrechnungen zurückgegriffen.

Über die Qualität der vorliegenden Daten hinaus spielt für die Energiebilanzerstellung die mehrjährige Verfügbarkeit der Quellen sowie eine einheitliche und konsistente Darstellung der Zeitreihen eine wichtige Rolle. Nur so kann sichergestellt werden, dass über die zur Energiebilanzerstellung genutzten Verfahren und Methoden Daten generiert werden, die sich auch über einen langen Zeitraum konsistent und ohne Strukturbrüche in das Bilanzschema eingliedern. Sowohl die amtlichen Quellen als auch die Daten der Kohlenstatistik blicken auf eine lange Tradition zurück. Sollten aufgrund von Revisionen oder der Veränderung statistischer Grundlagen (z.B. Energiestatistikgesetz) Brüche in den Zeitreihen unvermeidbar sein, sind diese in den zur Energiebilanzerstellung genutzten Quellen dokumentiert, so dass stets eine sachgerechte Anpassung der Methoden gewährleistet ist.

18.4.1.1.4 Transparenz der Methoden und Verfahren

Am 1. Januar 2003 ist das Energiestatistikgesetz (EnStatG) in Kraft getreten. Mit diesem Gesetz wurden die amtlichen Energiestatistiken aus verschiedenen Rechtsgrundlagen zusammengeführt und an die gewandelten Informationsbedürfnisse der Nutzer angepasst. Seitdem werden durch das Statistische Bundesamt auch für die Bereiche Wärmemarkt, Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbare Energieträger Daten erhoben und bereitgestellt. Im Rahmen dieser Neustrukturierung weist das Statistische Bundesamt neben der Strom- und Wärmerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung den kompletten Brennstoffeinsatz für Kraft-Wärme-Kopplung in der allgemeinen Versorgung und der Industrie (differenziert nach Energieträgern) aus.

Für die Energiebilanzen - und hier insbesondere für die Darstellung des industriellen Endenergieverbrauchs - ergab sich aus dem veränderten statistischen Datenangebot grundsätzlich ein methodischer Anpassungsbedarf. Die skizzierte Erweiterung des Datenangebots hat nämlich zur Folge, dass für die industrielle Stromerzeugung ab dem Jahr 2003 gesonderte Informationen zum Brennstoffeinsatz der reinen Stromerzeugung vorliegen.

Daten zur Aufteilung des Brennstoffeinsatzes auf die Produkte Strom und Wärme bei Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie und in Heizkraftwerken werden vom Statistischen Bundesamt nicht erhoben, sondern von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen bzw. den von ihr beauftragten Instituten geschätzt. Die dabei angewandte „finnische“ Methode beruht auf der Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004. Diese ist mathematisch genau definiert und wird im Vorwort der Energiebilanzen und aktuell auch in der Broschüre Energie in Zahlen – Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen, S. 10, 11 f. näher erläutert.

Mit Blick auf die Qualitätssicherung wird die Berechnung in den Bereichen der allgemeinen Versorgung und der Industrie mit der finnischen Methode nachvollziehbar und transparent gehandhabt. Die notwendigen Annahmen wie etwa die Referenzwirkungsgrade der ungekoppelten Erzeugung in den Dokumentationen zur Energiebilanz werden angegeben. All dies zeigt, dass bei der Erstellung der Energiebilanzen trotz Anwendung teilweise komplexer methodischer Umwandlungsschritte eine hohe Transparenz und Eindeutigkeit der Ergebnisse gewährleistet werden kann. So lassen sich alle Energiebilanzfelder stets eindeutig bis hin zur jeweiligen primärstatistischen Grundlage zurückverfolgen.

Amtliche oder verbandsinterne Primärinformationen können – ungeachtet ihrer Qualität – nur an wenigen Stellen der Energiebilanz unmittelbar ohne den Einsatz methodischer oder statistischer Verfahren zur Erstellung der Energiebilanz genutzt werden. Vielmehr erfordert die komplexe Darstellung des Energieflusses in Form einer Matrix zur Einhaltung der formalen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben ausgehend von vorliegenden statistischen Rohdaten zahlreiche Transformationsschritte, Umrechnungen oder Umbuchungen. Hinzu kommt, dass in einigen wenigen Bereichen der Energiebilanz keine primärstatistischen Daten vorliegen, so dass Datenlücken in Abhängigkeit vom Einzelfall auch durch die Anwendung formaler Schätzmethoden geschlossen werden müssen.[177]

18.4.1.1.5 Kontrolle und Verifikation der Ergebnisse

Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung und –kontrolle umfassen die Bereiche:

- Sicherung der Datenqualität und der Transparenz der Methoden und Verfahren,
- Mechanismen zur Kontrolle und kritischen Überprüfung der Energiebilanzen, die Korrektheit, Vollständigkeit und Konsistenz der Bilanz sicherstellen sowie
- Maßnahmen zur Dokumentation und Archivierung, die die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Bilanz gewährleisten sollen und
- Fachverantwortlichkeit zur Erstellung der Energiebilanzen.

Kritische Diskussion, Verifikation und Kontrolle erfolgen auf unterschiedlichen Ebenen:

- Die jährliche Energiebilanz wird unabhängig von mehreren Bearbeitern erstellt und wechselseitig abgeglichen.
- Die Arbeiten werden wechselseitig kontrolliert und anhand von Kontrollgrößen (z.B. Veränderungen im Jahresvergleich, impliziten Heizwerten, Nutzungsgraden) auf Plausibilität geprüft.
- Die Zeitreihenkonsistenz wird regelmäßig verifiziert. Im Falle unplausibler Sprünge in der Zeitreihe, die nicht auf Übertragungs- oder Rechenfehler, sondern auf die Entwicklungen in den primärstatistischen Erhebungen zurückzuführen sind, erfolgt in enger Kooperation mit der datenliefernden Institution wie dem StBA eine lösungsorientierte Erörterung des Problems. Bei Erstellung der Energiebilanz 2018 fiel zum Beispiel bei dem Energieträger Erdgas, Erdölgas oder Heizöl leicht in der Statistik 064 auf, dass die Fallzahlen bei den Betrieben angestiegen waren, aber die Brennstoffeinsätze in etwa die gleiche Größenordnung hatten, was daran lag, dass von Unternehmen auf Betriebe umgestellt wurde (siehe hierzu Tabelle 1).
- Die Energiebilanzen werden mit den Datenlieferungen an IEA/Eurostat abgeglichen.

[177] Ausblick: Am 10. März 2017 ist das novellierte Energiestatistikgesetz (EnStatG) in Kraft getreten. Damit wird den veränderten Anforderungen an Energiedaten auf nationaler und auf internationaler Ebene Rechnung getragen. Die Energiestatistiken werden an die geänderten Rahmenbedingungen in der Energiewirtschaft angepasst. Bestehende Datenlücken, vor allem in den Bereichen erneuerbare Energien, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Wärme wurden geschlossen. Die Anwendung des novellierten EnStatG erfolgte für die Monatserhebungen ab dem Berichtsmonat Januar 2018.

- Des Weiteren kontrollieren die in der AGEB zusammengeschlossenen Verbände begleitend die Ergebnisse.
- Außerdem werden Daten und Ergebnisse frühzeitig mit den Fachverantwortlichen des Umweltbundesamts (UBA) auch im Rahmen der Geschäftsstelle der AGEE-Stat diskutiert.
- Statistische Fragen der Energiebilanz werden zudem im „Arbeitskreis Methodik“ (AKM) beim BMWi erörtert.

Die Veröffentlichung der Energiebilanz auf den Internetseiten der AGEB bzw. die Bereitstellung vorläufiger Energiebilanzdaten an das Umweltbundesamt zur Weiterverarbeitung im System des nationalen Treibhausgasinventars erfolgen erst, nachdem die Gesamtbilanz alle Kontrollinstanzen erfolgreich durchlaufen hat.

Um Fehler bei Berechnungen und Schätzungen der Daten für die Energiebilanz weitgehend zu vermeiden, erfolgt die jährliche Aufstellung der Energiebilanz im Rahmen standardisierter Vorgehensweisen. Dazu wurden umfangreiche Instrumente entwickelt, die bewährte Schätzverfahren oder formale Berechnungsmethoden im Rahmen der Bilanzarbeiten automatisieren. Aufgrund dieser Vorgehensweise, die teilweise nur das Einpflegen der statistischen Rohdaten in die entsprechenden Tools erfordert, können Berechnungs- oder Transformationsfehler weitgehend verhindert werden. Die Verwendung stets einheitlicher und standardisierter Methoden leistet zudem einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Zeitreihenkonsistenz.

18.4.1.1.6 Dokumentation und Archivierung

DIW Berlin, EEFA-Forschungsinstitut sowie ZSW führen über die in jährlichem Abstand zu erstellenden Energiebilanzen eine detaillierte, schriftliche Dokumentation. Die Dokumentation umfasst jedes Feld der Energiebilanz, eine Auflistung der verwendeten statistischen Quellen und Erhebungen sowie eine genaue Erläuterung der angewandten Rechenmethoden und –verfahren. Ziel der Dokumentation ist die lückenlose Nachvollziehbarkeit sowohl für eigene Zwecke als auch für das BMWi und das UBA. Eine regelmäßige Aktualisierung der Dokumentation ist zudem ein Beitrag zur Sicherung der Datenqualität und Einhaltung der Zeitreihen- und Methodenkonsistenz.

Alle statistischen Daten, Berechnungsmethoden, Schätzverfahren, die für die Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendet werden, werden archiviert. Die Sicherung der elektronischen Daten erfolgt im DIW Berlin sowie im ZSW sowohl automatisch durch die Zentrale Datenverarbeitung auf speziellem Serverplatz, als auch manuell in regelmäßigen Abständen. Im EEFA-Institut kommen zur Archivierung elektronischer Inhalte sowohl portable Medien wie CD-ROM oder DVD sowie Wechselplatten als auch netzbasierte Serverlösungen zum Einsatz. Die Sicherung der Daten erfolgt sowohl automatisch als auch in regelmäßigem Abstand auf manuellem Weg.

18.4.1.1.7 Qualifikation der Bearbeiter

Für die Bearbeitung des Dienstleistungsprojektes „Erstellen von Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland“ steht dem DIW Berlin, dem EEFA-Forschungsinstitut sowie dem ZSW erfahrenes Personal mit fundierten statistischen, ökonomischen sowie energiewirtschaftlichen Kenntnissen zur Verfügung.

18.4.1.1.8 Erläuterungen zur Aktualität bzw. zeitlichen Verfügbarkeit der Daten für die Erstellung der Energiebilanzen

Amtliche Statistiken

Die endgültigen Jahreswerte der monatlichen Erhebung 066 (Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur Allgemeinen Versorgung) für 2019 waren im Mai 2020 verfügbar; die jährlichen Erhebungen 064 (Wärmeerzeugung) im November 2020, die 067

(Stromerzeugungsanlagen der Industrie) war im Oktober 2020 verfügbar, die 070 (Einspeisungen) im November 2020 und die 073 (Klärgaserhebung) war ebenfalls im November 2020 verfügbar, die 082 lag im November 2020 vor. Die Ergebnisse der Erhebung 062 (Geothermie) lagen im September 2020 vor, die Ergebnisse der 063 (Biotreibstoffe) im Oktober 2020. Die Ergebnisse der Erhebungen 066 (Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung) und 067 (Stromerzeugungsanlagen der Industrie) müssen mit der finnischen Methode umgerechnet werden. Berechnungen, Prüfvorgänge, Abstimmungsprozesse mit BDEW, AGEE-Stat, EEFA benötigen mindestens zwei Wochen Zeit. Die Ergebnisse der Erhebung 060 (Energieverwendung der Industrie), die einen wesentlichen Bestandteil der Energiebilanzen ausmachen, lagen im Oktober 2020 vor. Branchenscharfe Berechnungen, Plausibilitätsprüfungen, Prüfanfragen an das StBA (das diese dann an die Länder weiterreichen muss) und Abstimmungen mit beteiligten Verbänden benötigen einen gewissen Zeitnachlauf.

Derartige zeitlichen Restriktionen haben dazu geführt, dass beginnend mit dem Berichtsjahr 2009 im Juli zunächst eine Schätzbilanz erstellt wird. Mit dem aktuellen Vertrag ist im Juni eine Schätzbilanz zu erstellen und im September die Auswertungstabellen, in die die aktualisierte Schätz-Energiebilanz mit den aktualisierten Daten der erneuerbaren Energien einfließen. In dieser sind dann bereits die vorliegenden amtlichen Daten aus der Erhebung 066 eingearbeitet. Die restlichen Daten werden in Zusammenarbeit mit den Verbänden, die der AGEB angehören, zunächst geschätzt und abgestimmt.

Überblick über die Veröffentlichungen der Statistiken, die in der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland genutzt werden:

Tabelle 530: Daten für das Jahr 2019:

Erhebende Institution	Statistik-Nr.	Veröffentlichungsdatum
Statistisches Bundesamt	060	Okt. 2020
	062	Ende Sept. 2020
	063	Okt. 2020
	064	Nov. 2020
	066	Mai 2020
	067	Okt. 2020
	070	Nov. 2020
	073	Nov. 2020
	075	Feb. 2021
	082	Nov. 2020
BAFA	Amtliche Mineralölstatistik	9. Juli 2020

Tabelle 531: Daten für das Jahr 2018:

Erhebende Institution	Statistik-Nr.	Veröffentlichungsdatum
Statistisches Bundesamt	Energiesteuer 2019, Tab. 2.3 Erdgas	19. Juni 2020

Verbandsstatistiken

In die endgültige Energiebilanz fließen Daten von Verbänden ein (s.o.), die frühzeitig vorliegen. Daten des Bundesverbands Erdgas und Geothermie (BVEG) werden für Fackelverluste sowie Daten von Zukunft Erdgas, vormals Erdgas mobil für Verkehr beim Energieträger Erdgas, Erdölgas genutzt.

Aufgrund der vierteljährlichen Schätzungen zum Primärenergieverbrauch in Deutschland liegen hierzu zeitnah auch vorläufige Daten vor. Wichtige vorläufige Daten, die auch für den Endenergieverbrauch für die Schätzbilanz mit Stand August vonnöten sind, liefert der BDEW. Dieser veröffentlicht im Sommer eines jeden Jahres Daten zum Thema „Energiemarkt Deutschland – Zahlen und Fakten zur Gas-, Strom- und Fernwärmeversorgung“. Außerdem fließen in die Schätzbilanz Angaben des BDEW zur Bruttostromerzeugung ein sowie Daten der Statistik der Kohlenwirtschaft, des Mineralölwirtschaftsverbands (MWV) und des Deutschen Atomforums.

Sonstige Daten

Für die endgültige Energiebilanz werden Angaben zur Stromerzeugung aus Windenergie, Photovoltaik sowie Geothermie basierend auf dem Mengentestat der Übertragungsnetzbetreiber zu Stromeinspeisungen und Vergütungen nach dem EEG verwendet, die regelmäßig mit Stand vom August vorliegen.

Angaben zur Stromerzeugung aus Biomasse sowie zum Brennstoffeinsatz von Biomasse in dezentralen KWK-Anlagen beruhen auf Berechnungen der AGEE-Stat. Für den Holzverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors GHD wurden Angaben von der AGEE-Stat implementiert. Daten in den Bereichen Solarthermie und Umweltwärme basieren auf Modellrechnungen der AGEE-Stat.

Zur Berechnung der Stromerzeugung und des Brennstoffeinsatzes in kleinen Erdgas- und HEL-KWK-Anlagen (< 1 MW) werden Angaben aus der BHKW-Datenbank des Öko-Instituts verwendet, die auch für die IEA/Eurostat-Berichterstattung genutzt werden.

Daten für Petrolkoks zum Einsatz in Hüttenkokereien werden von den entsprechenden Ländern für die Bundesbilanz zur Verfügung gestellt, aufgrund einer Vereinbarung der AGEB mit dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen. Diese Daten fließen auch über das BAFA in den Joint Annual Questionnaire von IEA/Eurostat.

Tabelle 532: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA

Erhebung	Nr.	Erhebungszeitraum	Aktualität gemäß Qualitätsbericht	Angaben	Erhebungskreis	Erhebungseinheiten
Jahreserhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden	060	jährlich	Ende des Folgejahres	Strombezug und -erzeugung, Stromabgabe und –verbrauch Bezug von Wärme, Wärmeverbrauch und –abgabe Energieträger- / Brennstoffabgabe und –bestand nach Energieträger Durchschnittlicher unterer Heizwert	Abschnitte B „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ und C „Verarbeitendes Gewerbe“	Produzierende Betriebe (derzeit ca. 40.000) mit mind. 20 Beschäftigten Ausnahme: Betriebe von Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes bereits mit 10 und mehr tätigen Personen in einigen Wirtschaftszweigen
Erhebung über die Einfuhr von Kohle	061E	monatlich, jährlich	Ende April des Folgejahres	Einfuhr von Kohle	Unternehmen, die Braunkohle, Braunkohlenprodukte, Steinkohle, Steinkohlenkoks und briketts einführen	Vollerhebung (nicht einbezogen werden im Ausland gelegene Einheiten)
Jahreserhebung über Wärme- und Elektrizitätserzeugung aus Geothermie	062	jährlich	Ca. 9 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Art und Leistung der Anlagen sowie Wärme und/oder Elektrizitätserzeugung, Anzahl und Leistung der Anlagen Verwendung und Abgabe von Wärme und /oder Elektrizität aus Tiefengeothermie, Abgabe nach Energieversorgungsunternehmen und eigenen Anlagen	Alle Betreiber von Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie	Die Erhebung richtet sich an alle Betreiber von Anlagen zur Nutzung von Tiefengeothermie
Jahreserhebung über die Erzeugung von Biokraftstoffen	063	jährlich	Ca. 9 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Art und Kapazität der Anlagen, Einsatzstoffe zur Erzeugung von Biokraftstoffen und Erzeugung und Bezug aus dem Ausland, Absatz von Biokraftstoffen im Inland sowie Ausland	Alle Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen	Die Erhebung richtet sich an alle Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen.
Jahreserhebung über Erzeugung und Verwendung von Wärme sowie über den Betrieb von Wärmenetzen	064	jährlich	Ende des Folgejahres	A Angaben nach Anlagen für das Heizwerk. Leistung, Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende; Zusammenfassung aller Anlagen Leistung und Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende B Angaben nur für wärmegeführte Blockheizkraftwerke: Leistung, Eigenverbrauch, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende; Wärme- und Elektrizitätserzeugung; Zusammenfassung aller Bundesländer Leistung, Eigenverbrauch, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende, Wärme- und Elektrizitätserzeugung C Angaben nur für Speicheranlagen, Speicherkapazität in den Speicheranlagen D Angaben für Wärmenetze E Wärmebilanz		Alle Betreiber von Heizwerken ab einer installierten Nennleistung von 1 MWth und bei allen Betreibern von Anlagen zur netzgebundenen Wärmeversorgung einschl. wärmegeführter Blockheizkraftwerke sowie bei Dritten, die sich dieser Anlagen bedienen.
Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur allgemeinen Versorgung	066K	monatlich; jährlich	70 Tage nach Abschluss des Berichtsmonats Ende April des Folgejahres	A Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit B Brennstoffeinsatz, Brennstoffbestand sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Anlage im Berichtsmonat C Abgabe der Wärme im Berichtsmonat D Speicheranlagen	Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität einschl. KWK-Anlagen, jeweils ab Nettonennleistung von 1 MW el sowie Anlagen zur Speicherung von Elektrizität 1 MWel oder Speicherkapazität von 1 MWh	Mengen- und leistungsbezogene Daten von Kraftwerken der EVUs mit Nettonennleistung ab 1 MW sowie Anlagen zur Speicherung von Elektrizität ab inst. Nettonennleistung von 1 MWel oder ab Speicherkapazität von 1 MWh. Bei allen Betreibern von Anlagen zur Erzeugung und Speicherung von Elektrizität einschl. KWK-Anlagen.
Jahreserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden	067	jährlich	9 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	A Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit und Engpassleistung nach Anlagenart, Primärenergieeinsparung B Brennstoffeinsatz, Brennstoffbestand sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Anlage im Berichtsjahr	Abschnitt B „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ und C „Verarbeitendes Gewerbe“	Betreiber von zur Eigenversorgung bestimmten Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität ab einer installierten Nettonennleistung von 1 MWel einschl. der KWK-Anlagen
Monatserhebung über die Gasversorgung	068	monatlich	42 Tage nach Abschluss des Berichtsmonats	A Gewinnung und Eigenverbrauch von Erdgas (oberer Heizwert) B Ein- und Ausspeisung von Erdgas, Biogas, Eigenverbrauch C Speicherveränderung und Füllstände		Alle Betreiber von Anlagen zur Gewinnung von Erdgas, zum Transport von Erdgas und Biogas durch Fernleitungen sowie alle Betreiber von Anlagen zur Speicherung von Erdgas
Jahreserhebung über die Stromein- und –ausspeisung bei Netzbetreibern	070	jährlich	12 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	A Netznutzungsentgelte für Sondervertragskunden B Netzeinspeisungen nach Energieträgern C Netzausspeisung D KWK-Anlagen unter 1 MW Nettonennleistung Summe aller Bundesländer A - D		Alle Betreiber von Stromnetzen für die allgemeine Versorgung
Jahreserhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas	073	jährlich	8 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	A Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas B Klärschlammeinsatz auf der Kläranlage zur Erzeugung von Strom und Wärme C Installierte Leistung der Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme D Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärgas E Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärschlamm		Alle Betreiber von Anlagen, die Klärgas erzeugen oder Klärschlamm zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme einsetzen

Erhebung	Nr.	Erhebungszeitraum	Aktualität gemäß Qualitätsbericht	Angaben	Erhebungskreis	Erhebungseinheiten
Jahreserhebung über die Abgabe von Flüssiggas	075	jährlich	8 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Abgabe von Flüssiggas an Letztverbraucher, an Wiederverkäufer, Abgabe insgesamt und nach Ländern		Unternehmen, die jährlich mindestens 100 Tonnen Flüssiggas an Letztverbraucher abgeben
Jahreserhebung über Gasabsatz und Erlöse in der Gasversorgung	082	jährlich	Die Bundesergebnisse liegen i.d.R. 12 Monate nach Ende des Berichtszeitraums vor	A Gewinnung oder Erzeugung von Gas: Erdgasgewinnung oder Gewinnung /Erzeugung sonstiger Gase; Eigenverbrauch und Verluste, Ein- und Ausfuhr, vertraglich nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsland; Absatz von Gas sowie Erlöse an Letztverbraucher in allen Bundesländern Abgabe und Ausfuhr von Gas sowie Erlöse Aufkommen von Gas nach Gasarten Abgabe von Gas sowie Erlöse nach Bundesländern		Alle Betreiber von Anlagen der Gasversorgung

Link zur Nomenklatur der Wirtschaftszweige (WZ 2008): https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html

Link zu den Qualitätsberichten Energiestatistik inkl. Fragebogen: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Energie/einfuehrung.html [178]

[178] Das Statistische Bundesamt veröffentlicht auf ihrer Internetpräsenz ausschließlich die Qualitätsberichte nach dem neuen EnStatG 2017. Qualitätsberichte nach dem alten EnStatG sind online nicht mehr verfügbar.

18.5 REGELMÄßIGER VERGLEICH VON ENERGIEBILANZEN

18.5.1 Vergleich der Energiebilanz 2019 mit der Energiebilanz 2018

Die endgültigen Energiebilanzen werden von der AGEB in der Regel im Frühjahr des übernächsten Kalenderjahres veröffentlicht. Um frühzeitiger Daten bereitstellen zu können, wird ab 2009 parallel zu den Auswertungstabellen im Sommer des nächsten Jahres eine Schätzbilanz erstellt, die zum Teil auf anderen Datenquellen beruht (vgl. Qualitätsberichte von DIW und EEFA).

Zur Identifikation signifikanter Abweichungen zwischen Energiebilanzen, die jeweils gesondert zu erläutern sind, werden absolute und relative Abweichungen berechnet. Aus einer Kombination der Kriterien „Abweichungen in TJ“ und „Abweichungen in %“ werden Positionen nach Energiebilanzspalten und –zeilen analysiert. Als Schwellenwerte werden Abweichungen von 10.000 TJ und 20 % zugrunde gelegt.

Für den Vergleich der Energiebilanz 2019 mit der Energiebilanz 2018 resultieren bei diesen Kriterien 51 Positionen (einschließlich Summen), die in der folgenden Übersicht dargestellt sind und erläutert werden.

Die hier dargestellten Differenzen entsprechen den statistischen Veränderungen gegenüber dem Vorjahr. Ursachen solcher Änderungen bestehen generell u.a. in der Konjunkturentwicklung, Strukturänderungen, Preisänderungen, Witterungseinflüssen und Sonderentwicklungen wie dem Ausstieg aus der Kernenergie. Diese allgemeinen Entwicklungen des Energieverbrauchs und seiner Determinanten 2019 im Vergleich zu 2018 werden in den Jahresberichten der AG Energiebilanzen erläutert.[179]

Der Vergleich der Energiebilanzen dient insbesondere der Kontrolle und Dokumentation der Plausibilität von auffälligen Veränderungen. Bei einigen Bilanzpositionen sind allerdings Änderungen, die mit den oben genannten Kriterien erfasst werden, nicht ungewöhnlich. Dies betrifft z.B. Bestandsänderungen, die sich naturgemäß von Jahr zu Jahr deutlich unterscheiden.

[179] AG Energiebilanzen: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019 weiter rückläufig. März 2020. www.ag-energiebilanzen.de.

Tabelle 533: Übersicht: Auffällige Positionen beim Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017

EB-Spalte	EB-Zeile	TJ	%	Erläuterungen
Steinkohle	Gewinnung im Inland	-75.404	-100,0	Ausstieg aus der Steinkohlenförderung
Steinkohle	Bestandsentnahmen	-90.974		Nicht vergleichbar
Steinkohle	Bestandsaufstockungen	54.172		Nicht vergleichbar
Steinkohle	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	-328.119	-23,7	Summe
Steinkohle	Wärmekraftwerke der allg. Versorgung	-195.087	-30,3	Lt. Statistik
Steinkohle	ENERGIEANGEBOT IM INL.N.UMWANDLUNGSBILANZ	-103.589	-40,4	Summe
Steinkohle	Statistische Differenzen	98.448	-412,5	Nicht vergleichbar
Koks	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	-14.743	-35,0	Summe
Braunkohle	Gewinnung im Inland	-316.500	-21,0	Lt. Statistik
Braunkohle	Energieaufkommen im Inland	-322.060	-21,3	Summe
Braunkohle	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	-322.060	-21,3	Summe
Braunkohle	Wärmekraftwerke der allg. Versorgung	-293.102	-22,6	Lt. Statistik
Braunkohle	Umwandlungseinsatz insgesamt	-310.634	-20,9	Summe
Erdöl	Bestandsentnahmen	-21.966	-100,0	Nicht vergleichbar
Erdöl	Bestandsaufstockungen	22.291		Nicht vergleichbar
Otto-KS	Einfuhr	30.553	29,5	AMS T5b S4 Z2+Z3+Z13
Otto-KS	Energieaufkommen im Inland	30.553	29,5	Summe
Otto-KS	Bestandsaufstockungen	11.753		AMS T6j S6+S7 Z2+Z3+Z13
Otto-KS	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	27.368	-24,7	Summe
Otto-KS	Mineralölverarbeitung	-84.712	-54,3	AMS T5j S3 Z2+Z3+Z13
Otto-KS	Umwandlungseinsatz insgesamt	-84.712	-54,3	Summe
Otto-KS	NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	145.365		T7j S2+6 Z3 chem. Weiterverarbeitung v. Benzinkomponenten
Diesel	Bestandsaufstockungen	-10.329	-57,4	AMS T6j S6 + S7 Z4
Diesel	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	75.579	23,1	Summe
HEL	Bestandsentnahmen	-29.584	-100,0	AMS T6j S6 7 Z5 + Z6
HEL	Mineralölverarbeitung	16.788	27,4	AMS T5j S3 Z5 + Z6
HEL	Umwandlungseinsatz insgesamt	16.297	22,8	Summe
HEL	Statistische Differenzen	-14.806	80,5	Nicht vergleichbar
HS	Einfuhr	-20.820	-24,1	AMS T5b S4 Z7 + Z8
HS	Energieaufkommen im Inland	-20.820	-24,1	Summe
HS	Hochseebunkerungen	-12.611	-31,9	AMS T6j S4 Z7 + Z8
FlüssGas	NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	17.822	23,2	AMS T7j S2 Z9
Erdgas	Einfuhr	-5.760.527	-100,0	ME Gas, Abgleich Gasbilanz destatis
Erdgas	Bestandsentnahmen	5.570.651		ME Gas, Abgleich Gasbilanz destatis
Erdgas	Bestandsaufstockungen	85.544	120,3	ME Gas, Abgleich Gasbilanz destatis
Erdgas	Statistische Differenzen	-63.733	565,0	Nicht vergleichbar
Strom	Einfuhr	30.233	26,5	Lt. Statistik
Strom	Energieaufkommen im Inland	30.233	26,5	Summe
Strom	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	57.841	-33,0	Summe
FernW	Fackel- u. Leitungsverluste	-11.450	-21,9	Lt. Statistik

EB-Spalte	EB-Zeile	TJ	%	Erläuterungen
FernW	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	14.769	62,9	Restgröße
PET	Einfuhr	-5.853.236	-50,7	Summe
PET	Bestandsentnahmen	5.452.139	4.561,8	Summe
PET	Bestandsaufstockungen	162.017	227,8	Summe
PET	Statistische Differenzen	40.560	-93,1	Summe
SET	Bestandsentnahmen	-31.030	-75,7	Summe
SET	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	127.568	22,9	Summe
Summe	**Einfuhr**	**-5.758.574**	**-42,9**	**Summe**
Summe	**Bestandsentnahmen**	**5.421.109**		**Summe**
Summe	**Bestandsaufstockungen**	**171.740**	**177,3**	**Summe**
Summe	**Statistische Differenzen**	**43.370**	**-51,6**	**Summe**

18.6 Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung

Ebenfalls seit 2012 erarbeitet das Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit BMWi, AGEB und StBA einen Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung, in dem dargelegt wird, wie den Beanstandungen aus der Inventarüberprüfung Rechnung getragen werden soll. Damit wird der Forderung aus Paragraph 39 des Überprüfungsberichts 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU) nach einem Aktionsplan entsprochen.

Tabelle 534: Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
1	Aktionsplan Energiedaten zur Inventarver-besserung	BMWi/UBA/ AGEB/StBA	UBA	39	*address review relevant issues in an action plan in the 2011 submission. […] The ERT reiterates the recommendation of the previous review report that Germany prepare a plan for the remaining abovementioned issues, and to report on it and on any progress achieved in its next annual submission*	Aktionsplan; NIR	Für den Inventarbericht 2013 wird erstmals dieser Aktionsplan aufgestellt	abgestimmter Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung liegt für die Inventarüberprüfung 2012 vor und wird jährlich aktualisiert	laufend	
2.1	Pünktlichkeit der endgültigen Energiebilanz	BMWi/AGEB / StBA/StaLas	BMWi	39	*timeliness of reporting […]*	Prozessanalyse Energiedaten; NIR	Für den Inventarbericht 2013 wird das Ergebnis einer Prozessanalyse dargelegt, in dem die Meldewege genauer als bisher beschrieben werden, sowie die Bemühungen und Erfolge, diese zu verkürzen	durch Prozessanalyse, in dem die geltenden Meldewege genauer als bisher beschrieben werden, sowie die Bemühungen und Erfolge, diese zu verkürzen, können Überprüfungsexperten nachvollziehen, dass D alle Optimierungsmöglichkeiten ausgeschöpft hat; Arbeitsstand ist im NIR 2013 dokumentiert	erledigt	
2.2	Pünktlichkeit der endgültigen Energiebilanz	BMWi/AGEB/StB A/StaLas	BMWi/AGEB (nicht für amtliche Daten)/StBA und Statistische Landesämter (für amtliche Daten)	137	*In the course of the review, the ERT formulated a number of recommendations relating to the transparency of background and methodological information*	Prozessanalyse Energiedaten; NIR	Organisationsverbe sserungen in den Statistischen Landesämtern. Das Statistische Bundesamt	amtliche statistische Daten sollen zukünftig früher übermittelt werden als bisher		

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
					(e.g. in the energy[...] sectors), justification and documentation of recalculations (e.g. in the energy[...] sectors)[...] The key sectoral recommendations are that Germany: *[...]* *(b) Improve the timeliness of reporting of the NEB (energy);*		bespricht auf der Referentenbesprechung mit den Ländern, ob und wie eine Verbesserung der Zusammenarbeit gewährleistet werden kann.			
3.1	Abweichungen vorläufige und endgültige EB	BMWi/AGEB / StBA/StaLas	AGEB; UBA	39	*significant differences between the preliminary and final NEB*	QK-Bericht; NIR	Energiedatenkonsistenzanalyse (EDKA)	Feststellung und Klärung der Abweichungen sowie Unterscheidung und Adressierung von a) Informationsdefiziten b) Dokumentationsbedarfen c) Datenproblemen d) methodische Änderungen	fortlaufend	
3.2	Abweichungen vorläufige und endgültige EB	AGEB	AGEB	39	*significant differences between the preliminary and final NEB*	QK	Von der AGEB wird angestrebt, eine Verringerung der Schätzfehler zu erreichen. Im derzeit in der Ausschreibung befindlichen Auftrag zur Erstellung der Energiebilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 ist festgelegt, dass die vorhandenen Schätzverfahren und Überleitungsmodelle ständig zu optimieren und schriftlich niederzulegen sind.	Berichte der AGEB zu Plausibilitätschecks. Die AGEB prüft neue Verfahren und Methoden zur Erstellung der Schätzbilanz. Konkrete Vorschläge dazu wurden vorgelegt (vgl. Bericht des EEFA-Forschungsinstituts zum Thema Schätz - u. Modellansätze zur Erstellung vorl. Energiebilanzen).	fortlaufend	

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
3.3	Abweichungen vorläufige und endgültige EB	AGEB, UBA	UBA	39	*significant differences between the preliminary and final NEB*	Inventar-beschreibung	Im Rahmen der Arbeiten an Inventar und Nationalem Inventarbericht 2015 (NIR) werden Abweichungen beschrieben und die Ergebnisse werden im Rahmen einer Differenzendiskussion dargestellt.	Arbeitsstand ist in der Inventarbeschreibung 2015 dokumentiert: Dokumentation, Datenrevision für frühere Jahre, Verringerung von Schätzfehlern	seit 2012 fortlaufend	
4	komplexes Nationales System	BMWi/UBA/ AGEB	UBA	39	*The previous review report noted several issues related to Germany's NEB (such as [...] the complexity of the NEB compiling process that may contribute to the problems with regard to timeliness and quality.*	NaSE	Austausch über die Ergebnisse der Inventar-überprüfung und Ableitung von Handlungsbedarfen	Energiedatenworkshop am 16.11.10 Energiedatenworkshop am 05.08.11 Energiedatenworkshop am 27.04.12 Energiedatenworkshop am 07.08.12 Energiedatenworkshop 2013 am 07.05.2013 Energiedatenworkshop 2014 am 05.06.2014 Energiedatenworkshop 2016 am 03.05.2016		
5	Qualitäts-sicherung	EEFA/ DIW/ StBA/ AGEB / UBA	AGEB/UBA	39	*lack of QA/QC procedures in place for some data sources used to compile the NEB*	NIR	gemeinsamen Qualitätsbericht der AGEB in neuen Anhang 2 des NIR 2012 und folgende	the NEB is subject to QA/QC procedures in accordance with the national system	seit 2012 fortlaufend	
6.1	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMWi, AGEB, Fragebogenbeauftragte	BMWi	39	*low comparability with the IEA data*		gemeinsam im Rahmen des Aktionsplans festzuschreiben	Einführung eines Überleitungsverfahrens zur Sicherstellung der Kompaitibilität zwischen Energiebilanz und Fragebogen im Bereich Strom und Wärme (vgl. dazu im Einzelnen Bericht des EEFA-	Abgeschlossen bzw. Fortlaufend	

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
								Forschungsinstituts an AGEB bzw. BMWI. Die Überleitung wurde im Zuge der umfassenden Revision der Fragebögen erfolgreich umgesetzt. In anderen Bereichen der Fragebögen bzw. Bilanz werden die Bemühungen zur Miniminierung von Abweichungen weiter fortgesetzt. Berichte der AGEB zu Plausibilitätschecks Revision des Questionnaires 2003-2011. Geplante Revision der NEB	Abgeschlossen Frühjahr 2014	
6.2	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMWi, AGEB, Fragebogenbeauftragte	BMWi	45	*The ERT also noted differences between the inventory data and the corresponding IEA data (e.g. for solid fuels exports, the data show differences of over 60 per cent in some recent years […] Germany has provided some explanations for the divergences and informed the ERT that it is continuing to investigate these differences. The ERT considers that the differences cause no underestimation of emissions, but reiterates the recommendation of the previous review report that Germany explain the reasons for these differences between its inventory data and the corresponding IEA data in its next annual submission.*		gemeinsam im Rahmen des Aktionsplans festzuschreiben	Siehe 6.1		

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
6.3	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMWi, AG Energiebilanzen	BMWi		*The ERT also noted differences between the inventory data and the corresponding IEA data (e.g. for solid fuels exports, the data show differences of over 60 per cent in some recent years […] Germany has provided some explanations for the divergences and informed the ERT that it is continuing to investigate these differences. The ERT considers that the differences cause no underestimation of emissions, but reiterates the recommendation of the previous review report that Germany explain the reasons for these differences between its inventory data and the corresponding IEA data in its next annual submission.*		Studie zum Abbau von Divergenzen zwischen nationaler und internationaler Energiestatistik	Da die NECP zwischen den Mitgliedsstaaten vergleichbar sein müssen, werden sie zu einem großen Teil aus Eurostat-Daten schöpfen. Um Inkonsistenzen zu vermeiden, sollten bisher bestehende Divergenzen zwischen nationalen und internationalen Energiedaten (IEA, Eurostat) minimiert werden. Daher wurde eine Studie vergeben, die neben einem vollständigen Bild der bestehenden Daten-Divergenzen und ihren Ursachen auch Strategien entwickelt, wie man diese abbauen kann. Diese Studie liegt nun vor. Im ausgeschriebenen Auftrag zur Erstellung der Energiebilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 werden die Ergebnisse der Divergenzen-Studie berücksichtigt. Ab der endgültigen EB 2020 ist eine Evaluierung mit dem Ziel durchzuführen, das Auftreten nicht zu rechtfertigender neuer Divergenzen soweit wie möglich zu vermeiden.	Ende 2018 Anfang 2022	
7.1	Verbesserung Gasbilanz	BMWi/StBA/ DIW/UBA/u.a.	StBA	39	*significant amount of flaring/losses of natural gas in the NEB that were not transparently accounted for*	NIR, EB	Treffen aller Beteiligten Energieexperten, Überprüfung und Umstellung der Datenquelle	the significant amount of flaring/losses of natural gas are taken into account	Apr 12	erledigt

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
7.2	Verbesserung Gasbilanz	BMWi/StBA/ DIW/UBA/u.a.	StBA	39	*significant amount of flaring/losses of natural gas in the NEB that were not transparently accounted for*	NIR, EB	Aktualisierung der Gasbilanzen in den Positionen Fackelverluste, sondern u.a. auch auf Gewinnung , Außenhandel, Bestandsveränderung, NEV, EEV in den Energiebilanzen 2005 und Folgende	the significant amount of flaring/losses of natural gas are taken into account with regard to the time series Revision der NEB	erledigt	

18.7 Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen

Siehe NIR 2007, Kapitel 13.6.

18.8 CO_2-Emissionsfaktoren

Die CO_2 Emissionsfaktoren wurden für die Berichterstattung 2015 vollständig überarbeitet. Dabei konnte erstmals in großem Umfang auf Daten des Emissionshandels zurückgegriffen werden. Es lagen Daten zu Heizwerten, Emissionsfaktoren, Brennstoffmengen und der Datenqualität vor. Diese Daten wurden einer gründlichen Qualitätskontrolle unterzogen. So wurden nur die Faktoren der Ebene 3 oder 4 (Messung) in die Rechnung einbezogen. Weiterhin wurden Emissionsfaktoren ersetzt, die offensichtlich aus Listenwerten stammten. Manche Stoffströme werden im Emissionshandel nicht eindeutig benannt, was zu fehlerhaften Materialzuordnungen bei festen Brennstoffen führt. Bezüglich der Kohlen konnten diese Fehlallokationen über den Heizwert eindeutig identifiziert und nachträglich umsortiert werden. Braunkohlen und Steinkohlen lassen sich über den Heizwert eindeutig unterscheiden. Aus den qualitätsgeprüften Daten wurden jährlich gewichtete Mittelwerte berechnet. Um überprüfen zu können, ob die ermittelten Faktoren repräsentativ sind, wurden die dahinterliegenden Brennstoffmengen mit denen der Energiebilanz verglichen. Außerdem wurde auf eine weitestgehende Konsistenz zwischen Heizwerten und Emissionsfaktoren geachtet.

Zusätzlich zu den Daten des Emissionshandels wurden noch weitere Datenquellen ausgewertet, Archivdaten gesichtet und eigene Messungen durchgeführt. Für die Rückrechnungen bis 1990 wurden je nach Sachverhalt sehr unterschiedliche Verfahren gewählt. Damit sollte zum einen die Zeitreihenkonsistenz gesichert werden und zum anderen möglichst realitätsnahe Lösungen gefunden werden. Die Herausforderung bestand gut dokumentierte Archivdaten für das Jahr 1990 zu finden, da Dokumente aus dieser Zeit nur in Papierform an unterschiedlichen Institutionen vorlagen. Außerdem werden Daten nur selten über einen Zeitraum von über 20 Jahren aufbewahrt.

Da zum verbleibenden Kohlenstoffgehalt in der Asche keine belastbaren und repräsentativen Daten vorliegen, wird als Oxydationsfaktor 1 angenommen. Das entspricht dem Default-Wert der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b).

18.8.1 Steinkohlen

Für die Steinkohlen wird ein sektorübergreifender Emissionsfaktor berechnet, was in diesem Fall sicherstellt, dass die Gesamtemissionen möglichst genau ermittelt werden. Eine Ausnahme bilden die Kokskohlen für die Eisen & Stahlindustrie, die sich deutlich von den Kesselkohlen unterscheiden. Eine weitere Ausnahme bilden die in den Haushalten und übrigen Kleinfeuerungsanlagen eingesetzten Anthrazitkohlen, die deutlich höhere Heizwerte und Kohlenstoffgehalte aufweisen.

Für die übrigen Steinkohlen wurden Emissionshandelsdaten für die Jahre 2005 – 2014 ausgewertet. Es gibt jeweils Stoffströme, die einem bestimmten Herkunftsgebiet zugeordnet werden können. Dadurch ist es möglich, herkunftsspezifische CO_2 Emissionsfaktoren und Heizwerte zu ermitteln. Neben den herkunftsspezifischen Daten gibt es noch eine Menge gemischter Kohlen bzw. Kohlen unklarer Herkunft. Für alle einzelnen Kohlefraktionen (Deutschland, Südafrika, Australien, Indonesien, Kolumbien, Norwegen, Polen, Tschechien, Russland, USA und Venezuela) wurden CO_2 Emissionsfaktoren und Heizwerte bestimmt. Für die nicht spezifizierbaren sonstigen Steinkohlen wurden ebenfalls gewichtete Mittelwerte berechnet. Um die Emissionsfaktoren zurückrechnen zu können, wurden für die Steinkohlen zwei verschiedenen Rechenvarianten geprüft. Zum einen wurde mit Hilfe der Daten zu den

einzelnen Herkunftsgebieten sowie über die Importströme der Steinkohlenstatistik, ein gewichteter Mittelwert für jedes Jahr berechnet. Zum anderen wurde aus den gesamten im Emissionshandel gemeldeten und geprüften Emissionsfaktoren für Steinkohlen ein gewichteter Mittelwert gebildet. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis des Vergleiches:

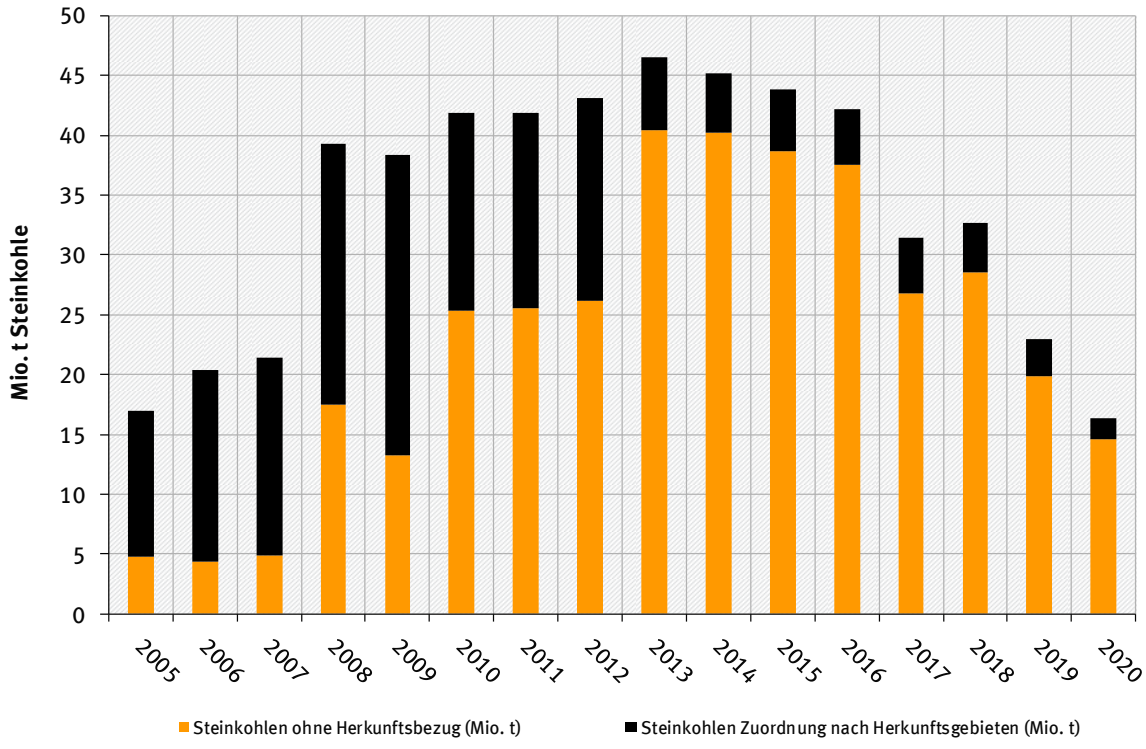
Tabelle 535: Vergleich der CO_2-Emissionsfaktoren für die Steinkohlen

[t CO2/TJ]	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Rechnung über Importe	93,874	93,976	93,865	93,924	93,993	94,003	94,181	93,652	93,276	93,888
gewichteter EF aller ETS Daten	93,606	93,940	93,792	94,317	94,121	94,032	94,228	93,675	93,363	93,560
Differenz	**0,29%**	**0,04%**	**0,08%**	**-0,42%**	**-0,14%**	**-0,03%**	**-0,05%**	**-0,02%**	**-0,09%**	**0,35%**

Da die Differenzen in den meisten Jahren sehr gering sind, können ab dem Jahr 2006 die gewichteten Emissionsfaktoren von allen im Emissionshandel gemeldeten Steinkohlen (außer Eisen & Stahl) verwendet werden - unabhängig vom Herkunftsgebiet. Für die Rückrechnung bis 1990 werden die aus den Emissionshandelsdaten gebildeten herkunftsspezifischen Emissionsfaktoren mit den jeweiligen Importströmen kombiniert. Dadurch entsteht eine konsistente Zeitreihe.

Die folgende Abbildung zeigt die auswertbaren Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorlagen.

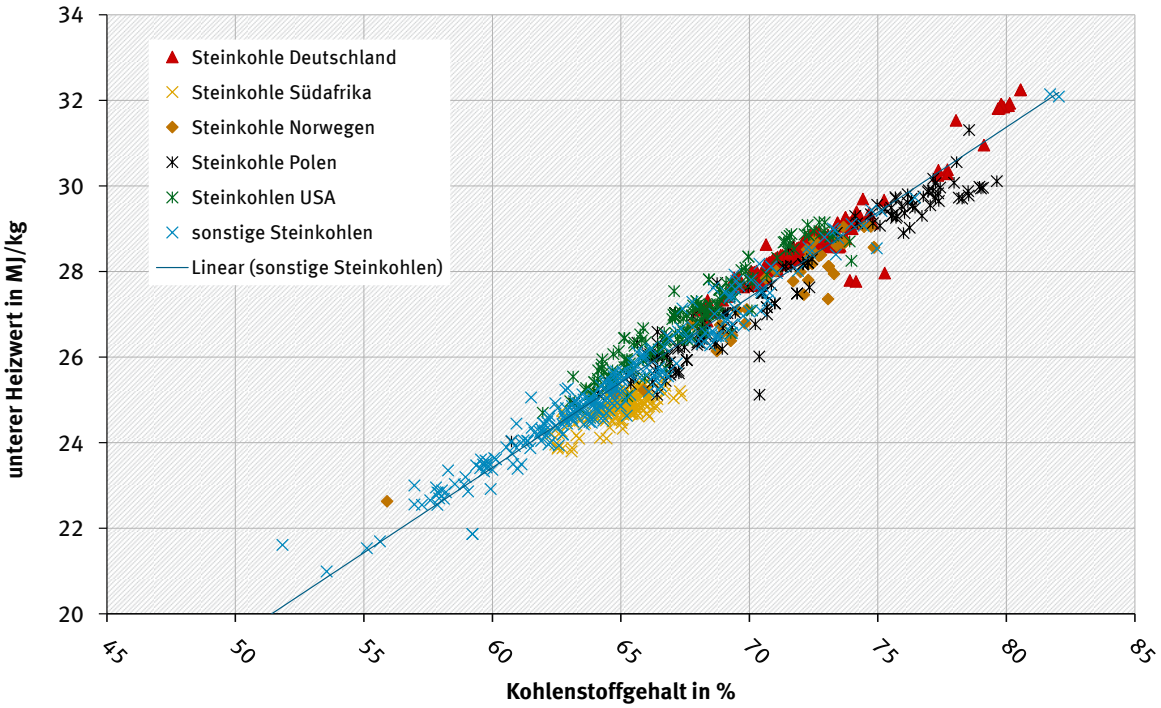
Abbildung 93: Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen



Dabei zeigt sich, dass aufgrund der Änderung der Regelungen die Qualität der Werte, vor allem ab dem Jahr 2008 deutlich ansteigt. Zum anderen fällt auf, dass die Menge der Steinkohlen, die sich eindeutig einem bestimmten Abbaugebiet zuordnen lässt, deutlich abnimmt. Von daher ist die Bildung eines gewichteten Mittelwertes über alle Steinkohlen, unabhängig von der Herkunft, die fachlich sinnvollste Lösung. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Emissionsfaktoren repräsentativ sind.

Insgesamt wurden sehr gründliche Qualitätsprüfungen durchgeführt und zahlreiche Auswertungen vorgenommen. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft, dass sich zum einen mehr oder weniger deutliche Herkunftsprofile erstellen lassen, zum anderen ein klarer Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und Heizwert besteht.

Abbildung 94: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Steinkohlenqualitäten



Die meisten Steinkohlen haben einen Kohlenstoffgehalt (bezogen auf die Originalsubstanz) zwischen 60 und 75 %. Der Durchschnitt liegt je nach Jahr zwischen 65 und 66 %. Die Steinkohlen im unteren Bereich bis zu einem Kohlestoffgehalt von rund 56 % und einem Heizwert von maximal 22 MJ/kg können als Ballaststeinkohlen bezeichnet werden. Die Steinkohlen im oberen Bereich, ab einem Heizwert von ca. 30 MJ/kg weisen Kokskohlenqualität auf. Die höchsten Kohlenstoffgehalte kommen bei Anthrazit vor.

Die Werte der in Deutschland eingesetzten **Kokskohlen** sind in dieser Grafik nicht enthalten. Die Kokskohlen wurden aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften separat ausgewertet. Außerdem werden für die Eisen & Stahl Industrie bezüglich der Kohlen im Emissionshandel keine auswertbaren Heizwerte gemeldet, so dass für diesen Bereich nur massebezogene Emissionsfaktoren ermittelt wurden. Dementsprechend werden die Kohlemengen ebenfalls in Tonnen bilanziert. Da für diesen Sektor in der Statistik Heizwertangaben größtenteils fehlen, erscheint es sinnvoll, mit natürlichen Einheiten zu rechnen. Nach intensiven Gesprächen mit den zuständigen Fachexperten der Deutschen Emissionshandelsstelle konnten repräsentative Emissionsfaktoren für die in der Eisen & Stahlindustrie eingesetzten Steinkohlen ermittelt werden. Aus dem gleichen Datensatz konnten Emissionsfaktoren für **Steinkohlenkoks, Steinkohlenteer sowie Benzol** generiert werden..

Bezüglich **Steinkohlenkoks** wurde für alle anderen Industriezweige eine energiebezogener CO_2 Emissionsfaktor als Mittelwert aus den Emissionshandelsdaten für die Jahre 2005 – 2013

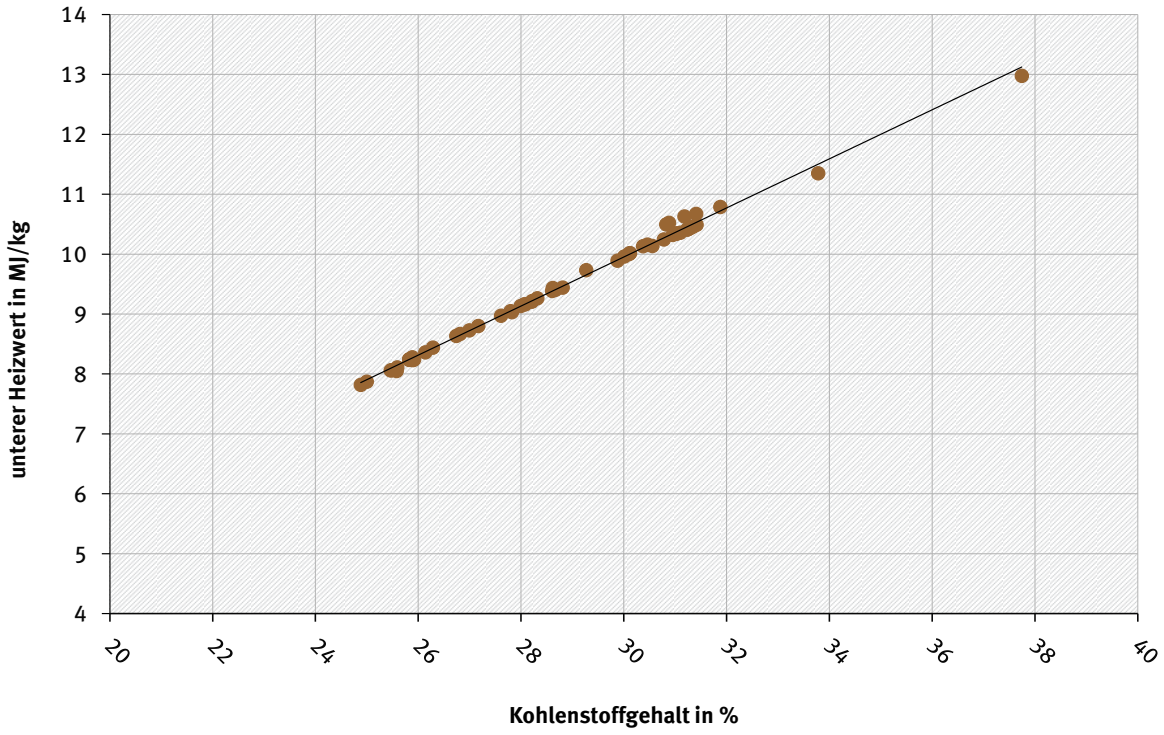
berechnet. Für die Folgejahre weichen die Emissionsfaktoren nur geringfügig ab, so dass mit dem Mittelwert weiter gerechnet werden kann.

Da die in den Kleinfeuerungsanlagen eingesetzten **Steinkohlenbriketts** über den Emissionshandel nicht erfasst werden, wurden für diesen Bereich im Rahmen eines Projektes eigene Analysen durchgeführt. Die Werte werden bis zum Jahr 1990 zurückgeschrieben, da für das Basisjahr keine repräsentativen Werte vorliegen.

18.8.2 Braunkohlen

Die Rohbraunkohlen, die in der öffentlichen Versorgung eingesetzt werden, können über die Braunkohlenstatistik revierspezifisch zugeordnet werden. Die CO_2 Emissionsfaktoren werden ab dem Jahr 2005 aus den Emissionshandelsdaten ermittelt. Die Kohlenstoffgehalte (bezogen auf die Originalsubstanz) liegen ebenfalls revierspezifisch vor. Die folgende Abbildung soll ein Beispiel geben:

Abbildung 95: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten am Beispiel einer Rohbraunkohlequalität



Bezüglich der Braunkohlen sind die Unterschiede beim Schwefelgehalt größer als bei den Steinkohlen. Da der Schwefelgehalt einen merklichen Einfluss auf den Heizwert und damit auf das Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalt und Heizwert hat, muss die Braunkohle revierspezifisch ausgewertet werden. Die Abbildung Abbildung 95 zeigt, dass es eine eindeutige Korrelation zwischen Heizwert und Kohlenstoffgehalt gibt. Somit kann über die entsprechende Formel und den für die jeweiligen Jahre bekannten Heizwert, der entsprechende Kohlenstoffgehalt und anschließend der energiebezogene CO_2 Emissionsfaktor berechnet werden. Dadurch ist eine Rückrechnung bis 1990 und somit die Bildung einer konsistenten Zeitreihe möglich. Sicherlich gibt es Unschärfen, da 1990 vermutlich noch kleinere Gruben in Betrieb waren, die andere Schwefelgehalte aufwiesen. Das lässt sich aber im Nachhinein nicht mehr herausfinden. 1990 wurden kaum Kohlenstoffanalysen durchgeführt, weil dieses Thema damals noch nicht relevant war. Es gibt nur wenige Einzelanalysen, die nicht unbedingt

repräsentativ sind. So liegen zum Beispiel für die Hessische Braunkohle, welche bis 2003 gefördert wurde, nur Angaben zum Heizwert vor. Für die Rückrechnung wurde hier ein mittlerer Schwefelgehalt angenommen, der zwischen dem Mitteldeutschen und dem Rheinischen Revier liegt. Mengenmäßig ist diese Kohle kaum relevant. Der Emissionsfaktor ändert sich zwischen 1991 und 1992 sehr stark, weil in diesem Revier zwei Kraftwerke vom Netz gingen, die zwischenzeitlich mit minderwertiger Kohle versorgt wurden.

Für den Rohbraunkohleeinsatz in den Fernheizwerken wird ein gewichteter Emissionsfaktor aus dem Braunkohleeinsatz in der öffentlichen Versorgung berechnet. Für die Industrie und die Kleinverbraucher wurde aus der Absatzstatistik des DEBRIV (Deutscher Braunkohlen Industrie Verein) ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet, der sich aus der Verteilung der Reviere ergibt.

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die **Braunkohlenbriketts** werden ab dem Jahr 2005 Emissionshandelsdaten verwendet. Daraus werden Jahres- und revierspezifische Mittelwerte gebildet, aus denen mit Hilfe der Absatzstatistik (DEBRIV) ein gewichteter Mittelwert berechnet wird. Die Emissionshandelsdaten können nicht direkt verwendet werden, da sie den Berichtskreis nicht vollständig abdecken. Die Haushalte und Kleinverbraucher nehmen nicht am Emissionshandel teil. Um sicherzustellen, dass die Brennstoffqualitäten gleich sind, wurden die Datenauswertungen aus dem ETS mit eigenen Analysen für Briketts aus dem Haushaltsbereich verglichen. Die Werte passen gut zusammen. Braunkohlenbriketts sind zwar ein standardisiertes Produkt, für das bestimmte Qualitätsmerkmale gelten, trotzdem gibt es revierspezifische Unterschiede, abhängig vom Kohlenstoff- oder Schwefelgehalt der eigesetzten Rohbraunkohlen. Die Rückrechnung bis zum Jahr 1990 erwies sich als deutlich komplizierter als die Berechnung der Rohbraunkohlen. Lediglich für die Rheinischen Braunkohlenbriketts konnten aus ETS Daten 2005 – 2013 ein mittlerer CO_2 Emissionsfaktor berechnet werden, der auch für die Jahre 1990 – 2004 verwendet werden kann. In den Neuen Bundesländern wurden Anfang der 1990er Jahre sehr viele Brikettfabriken geschlossen, so dass sich die Qualität der Brennstoffe deutlich verändert hat. Aus mitteldeutscher Braunkohle werden gar keine Briketts mehr hergestellt. Dementsprechend sind auch keine aktuellen Messwerte vorhanden. Von daher musste auf Archivdaten zurückgegriffen werden. Es lagen Analysedaten von Mohry 1986 sowie Daten aus dem „Jahresbericht der Kohleindustrie der DDR“ aus dem Jahre 1986 vor. Es stellte sich heraus, dass der bisher für die mitteldeutschen Briketts angenommene Kohlenstoffgehalt deutlich zu hoch war. Bei der Berechnung der Mittelwerte wurde darauf geachtet, dass die Emissionsfaktoren mit den vom DEBRIV veröffentlichten Heizwerten zusammenpassen. Somit konnte für jedes Revier ein jährlicher CO_2 Emissionsfaktor berechnet werden. Daraus konnten mit Hilfe der vom DEBRIV verfügbaren Absatzstatistik jährliche, gewichtete CO_2 Emissionsfaktoren berechnet werden.

Bezüglich der **Braunkohlenstaub- und Wirbelschichtkohle** ist die Datenlage deutlich einfacher, da aus allen Revieren Daten im Emissionshandel vorliegen. Für die Rückrechnung bis 1990 wurden hier - abhängig von der Datenqualität - Mittelwerte aus den Jahren 2005 bzw. 2008 – 2013 verwendet. Analog zu Rohbraunkohlen und Briketts, wurde auch für die Braunkohlenstaub- und Wirbelschichtkohlen mit Hilfe der Absatzstatistik (DEBRIV) ein gewichteter CO_2 Emissionsfaktor berechnet. Ab dem Jahr 2005 werden die CO_2 Emissionsfaktoren aus dem Emissionshandel direkt in die Berechnung eingefügt. Mit Hilfe der Revierspezifischen Absatzstatistik werden dann wie bisher gewichtete Faktoren berechnet.

Braunkohlenkoks wird gegenwärtig nur noch in einem Revier hergestellt. Der Herdofenkoks dient im Wesentlichen der stofflichen Nutzung. Da die Brennstoffqualität nur äußerst geringe Schwankungen aufweist, wurde aus den ETS Daten 2008 – 2013 ein Mittelwert gebildet, der bis 1990 zurückgerechnet wurde. Für die neuen Bundesländer lag nur eine Datenquelle vor. Es

handelt sich um Analysen aus der Ingenieursschule für Bergbau und Energetik „Ernst Thälmann“ in Senftenberg. Es erscheint aber plausibel, dass der Kohlenstoffgehalt deutlich geringer war, während Asche- und Schwefelgehalt im Vergleich zum rheinischen Koks deutlich höher lagen. Folgerichtig ist der für die neuen Bundesländer berechnete Emissionsfaktor auch niedriger.

Der für 2014 aus den Emissionshandelsdaten ermittelte Emissionsfaktor liegt mit 109,317 t CO_2/TJ dicht an dem für 2005 – 2013 berechneten Mittelwert von 109,578 t CO_2/TJ.

Der Datensatz aus der Ingenieursschule für Bergbau und Energetik „Ernst Thälmann“ in Senftenberg enthielt auch Analysen für **Torf, lufttrocken**. Der Heizwert stimmt mit dem in der Energiebilanz verwendeten Heizwert überein. Die Werte für das in den Raffinerien der neuen Bundesländer eingesetzte **Braunkohlenteeröl**, stammen aus derselben Datenquelle.

Für den in den Neuen Bundesländern verwendeten **Braunkohlenteer** lagen keine Daten vor. Alternativ wurden Analysedaten aus dem Forschungsbericht Vertrag Nr. 7220-EB/106 (DEBRIV 1980) verwendet. Braunkohlenteer wird seit dem Jahr 1991 nicht mehr eingesetzt.

Die CO_2 Emissionsfaktoren für die **Hartbraunkohlen** können ab dem Jahr 2008 aus ETS Daten generiert werden. In Deutschland werden derzeit nur sehr geringe Mengen an Hartbraunkohle eingesetzt. Um die Emissionsfaktoren bis 1990 zurückrechnen zu können, wurde aus den vorhandenen ETS Daten das Kohlenstoff/ Heizwertverhältnis ermittelt. Mit Hilfe der aus der Braunkohlestatistik (DEBRIV) bekannten Heizwerte konnte dann eine konsistente Zeitreihe erstellt werden.

18.8.3 Mineralöle

Rohöl und **Rohbenzin** werden in Deutschland nicht in Verbrennungsanlagen eingesetzt. Deshalb liegen für diese Rohstoffe im Emissionshandel keine Kohlenstoffgehalte vor. Auch aus anderen Quellen liegen keine Analysewerte vor. Von daher werden die Default-Werte aus den 2006 Guidelines verwendet. Die Faktoren werden nur für das Referenzverfahren sowie für die Raffinerie-Umwandlungsbilanz benutzt. Für **Flugbenzin** und **Schmierstoffe** kommen ebenfalls Default-Werte zur Anwendung.

Zur Berechnung der CO_2 Emissionsfaktoren für **Ottokraftstoff** wurde eine umfangreiche Auswertung dem DGMK Forschungsbericht 502-1 „Zusammensetzung von Ottokraftstoffen aus deutschen Raffinerien“ (DGMK, 2002) vorgenommen. Im Rahmen der Studie wurden die Bestandteile der Kraftstoffe sehr detailliert untersucht. Als Ergebnis liegt die Konzentration von 113 Einzelsubstanzen sowie 16 Stoffgruppen als Mittelwerte für Normalbenzin, Super und Super Plus aus allen deutschen Raffinerien vor. Über die Kohlenstoffgehalte der angegebenen Stoffe und der dazugehörigen Konzentration konnte für die 3 Kraftstoffqualitäten jeweils ein gewichteter Kohlenstoffgehalt berechnet werden. Aus dem Kohlenstoffgehalt konnte ein massebezogener Emissionsfaktor berechnet werden. Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte sowie die Schwankungsbreite der CO_2 Faktoren:

Tabelle 536: Zusammensetzung und Emissionsfaktoren von Ottokraftstoffen

		mittlerer CO_2 EF	Minimum	Maximum	Einheit
Normalbenzin		**3,183**	**3,160**	**3,206**	**t CO_2/ t**
Super		**3,185**	**3,152**	**3,211**	**t CO_2/ t**
Super plus		**3,141**	**3,102**	**3,176**	**t CO_2/ t**
Mit folgender Zusammensetzung:					
Normalbenzin	Paraffine	45,30	52,06	41,64	%
	Aromaten	37,14	28,68	48,12	%
	Sauerstoffverbindungen	0,30	0,32	0,19	%
Super	Paraffine	40,23	23,32	32,22	%
	Aromaten	43,44	47,99	46,30	%
	Sauerstoffverbindungen	2,54	11,52	0,01	%
Super Plus	Paraffine	33,95	41,60	33,29	%
	Aromaten	44,33	34,43	49,19	%
	Sauerstoffverbindungen	10,49	13,44	6,80	%

Als weitere Bestandteile sind noch Naphthene und Olefine zu nennen, die aber kaum einen Einfluss auf den CO_2 Faktor haben. Beim Normalbenzin bestimmt im Wesentlichen der Gehalt an Aromaten die Höhe des CO_2 Emissionsfaktors. Die Aromaten haben durchschnittlich einen höheren Kohlenstoffgehalt als die Paraffine. Der Gehalt an Aromaten im Ottokraftstoff hängt hauptsächlich davon ab, ob auf dem Gelände der Raffinerie auch chemische Grundstoffe hergestellt werden. In diesen Fällen wird versucht, einen möglichst hohen Anteil an Aromaten dem chemischen Produktionsprozess zur Verfügung zu stellen. Beim Ottokraftstoff Super schwankt der Gehalt an Aromaten nur geringfügig. Der CO_2 Faktor wird hier im Wesentlichen durch den Gehalt an Sauerstoffverbindungen (MTBE) bestimmt. Beim Super Plus spielt sowohl der Gehalt an Aromaten als auch der Gehalt an Sauerstoffverbindungen eine Rolle.

Aus den Angaben zum jährlichen Absatz von Normalbenzin, Ottokraftstoff Super und Super Plus (Amtliche Mineralöldaten) wird ein gewichteter CO_2 Emissionsfaktor berechnet. Für das Jahr 1990 liegen keine Angaben für die Neuen Bundesländer vor. Deshalb wird in diesem Fall die Aufteilung der einzelnen Kraftstoffqualitäten für das Jahr 1991 auf das Jahr 1990 übertragen. Aus Konsistenzgründen wird aus dem berechneten massebezogenen Emissionsfaktor und dem in der Energiebilanz verwendeten unteren Heizwert ein energiebezogener CO_2 Emissionsfaktor berechnet. Die so ermittelten Emissionsfaktoren schwanken über die Jahre kaum. Lediglich für das Jahr 2011 ergibt sich es ein auffällig niedriger Emissionsfaktor. Nach der Einführung von E10 (10%iger Anteil an Biokraftstoff im Super) wurde deutlich mehr Super Plus getankt.

Als Grundlage zur Berechnung des Emissionsfaktors für **Dieselkraftstoff** dient der DGMK Forschungsbericht 583: „Zusammensetzung von Dieselkraftstoffen aus Deutschen Raffinerien 1999-2002“. Dabei wurden Proben aus 13 Raffinerien für Sommer- und Winterqualitäten untersucht. Aus den Analyseergebnissen wurden jeweils ein Mittelwert für die Sommer- und ein Mittelwert für die Winterqualität berechnet. In Deutschland ist die Verfügbarkeit von Winterdiesel gesetzlich geregelt. Danach müssen die Tankstellen vom 15.11. bis zum 28.02. Winterdiesel anbieten. Zusätzlich muss noch eine Umstellungsphase berücksichtigt werden, so dass mit einer Nutzung von Winterdiesel von ca. 4 Monaten zu rechnen ist. Demnach fahren die Dieselfahrzeuge 8 Monate lang mit Sommerdiesel. Über diese Verteilung wurde aus den Analyseergebnissen zum Sommer- und Winterdiesel ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet.

Die CO_2 Emissionsfaktoren für **Heizöl leicht, Petrolkoks, Heizöl schwer** und **Andere Mineralölprodukte** werden aus Emissionshandelsdaten berechnet. Die jeweiligen Mittelwerte aus den Jahren 2005 – 2013 wurden bis 1990 zurückgeschrieben. Für Petrolkoks, Heizöl, schwer und Andere Mineralölprodukte werden ab 2005 bzw. 2008 jeweils jahresspezifische, gewichtete Mittelwerte aus dem Emissionshandel verwendet. Die Grenze zwischen schwerem Heizöl und

Anderen Mineralölprodukten ist nicht leicht zu ziehen. Gemäß der Mineralölstatistik wurden die Anderen Mineralölprodukte als Reststoffe aus den Raffinerien definiert und der Emissionsfaktor entsprechend berechnet.

Für das **Raffineriegas** wird aus den ETS Daten ein massebezogener CO_2 Emissionsfaktor berechnet. Da die jährlichen Schwankungen gering sind, wird hier ein über alle Jahre gleicher Faktor verwendet, der aus den Durchschnittswerten der Jahre 2005 – 2013 gebildet wird. Während die im Emissionshandel angegebenen unteren Heizwerte nur geringe jährliche Schwankungen aufweisen, schwanken die in der Energiebilanz verwendeten Heizwerte teilweise erheblich und weichen von den ETS Daten ab. Die in der Energiebilanz berichteten Raffineriegasmengen stammen aus der Mineralölstatistik. Diese Werte stimmen gut mit den ETS Daten überein. Aus Konsistenzgründen werden zur Inventarerstellung die in der Energiebilanz benutzten unteren Heizwerte verwendet. Der Emissionsfaktor wird dann entsprechend angepasst.

Um die CO_2 Emissionsfaktoren für **Flüssiggas** ermitteln zu können, wurde zunächst über die molare Masse der Kohlenstoffgehalt für Butan und Propan berechnet. Der jeweilige Anteil der beiden Komponenten wird im Jahresbericht des Deutschen Verbandes Flüssiggas e.V. veröffentlicht. Auch die Daten bis 1990 wurden vom Verband zur Verfügung gestellt. Über den jeweiligen Anteil der beiden Komponenten wird für alle ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet, der durch den in der Energiebilanz verwendeten unteren Heizwert geteilt wird. Die im NIR veröffentlichten Emissionsfaktoren für Flüssiggas gelten nur für den energetischen Verbrauch. Die Daten für die stoffliche Nutzung unterscheiden sich, da in diesem Fall im Gemisch durchschnittlich mehr Butan als Propan enthalten ist. Bei der energetischen Nutzung ist mehr Propan als Butan enthalten. Leider ist diese Aufteilung seit dem Berichtsjahr 2017 nicht mehr verfügbar. Daher wird das Verhältnis Butan zu Propan zukünftig fortgeschrieben. Ein großer Effekt wird dadurch nicht erwartet. Die Anteile schwankten über die Jahre nur unwesentlich.

18.8.4 Gase

Gemäß IPCC Definition der Brennstoffe werden einige gasförmige Brennstoffe den festen Brennstoffen zugeordnet, da diese nach Logik der Guidelines aus festen Brennstoffen entstehen bzw. hergestellt werden. Das gilt für Kokerei- und Stadtgas, Gicht- und Konvertergas sowie für Brenngas. Die sonstigen hergestellten Gase werden den flüssigen Brennstoffen zugeordnet, da diese Gase im Wesentlichen in der Chemischen Industrie entstehen, aus dem Nichtenergetischen Verbrauch von Naphtha und anderen Mineralölprodukten. Diese Zuordnung ist notwendig, um im Referenzverfahren sinnvolle Ergebnisse zu erzielen.

Zur Ermittlung der CO_2 Emissionsfaktoren für **Kokereigas, Gichtgas, Konvertergas** und **Erdölgas** werden Emissionshandelsdaten verwendet. Für die Rückrechnung bis 1990 wurden aus den ETS Daten 2005 – 2013 Mittelwerte berechnet, die dann für die Jahre 1990 – 2004 verwendet werden. Da in der Energiestatistik Gicht- und Konvertergas nur als Gasgemisch berichtet werden, wird aus den für beide Gase einzeln ermittelten Emissionsfaktoren und dem Gicht- und Konvertergasaufkommen ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet. In den einzelnen Verwendungsbereichen gibt es sicherlich Unterschiede im Mischungsverhältnis. Da die Gicht- und Konvertergasverbrennung im Emissionshandel nur teilweise abgedeckt wird, wird durch die hier angewendete Berechnungsmethode sichergestellt, dass die Gesamtemissionen korrekt berechnet werden.

Bis zum Jahr 1996 wurde in Deutschland noch Stadtgas eingesetzt, das in der Energiebilanz mit dem Kokereigas zusammengefasst wird. Genau wie bei der Gicht- und Konvertergasverbrennung ist auch hier der Anteil vom **Kokereigas und Stadtgas** bei der Verwendungsseite nicht ablesbar. Deshalb wird auch in diesem Fall über das Kokereigas- und das Stadtgasaufkommen ein

gewichteter Emissionsfaktor berechnet. Die Werte für das **Stadtgas** stammen von der GASAG und DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig. Es liegen detaillierte Analysen für die Jahre 1989 bis 1991 vor. Diese unterschiedlichen Gase wurden zu einer einigermaßen gleichbleibenden Stadtgasqualität zusammengemischt. Zum jeweiligen Mischungsverhältnis der Gasfraktionen für die Sommer- und Winterqualität liegen ebenfalls Information der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig vor. Die Emissionsfaktoren wurden entsprechend gewichtet. Die Werte für das ausschließlich in den Neuen Bundesländern verwendete **Brenngas** stammen aus dem Datensatz der Ingenieursschule für Bergbau und Energetik „Ernst Thälmann“ in Senftenberg. Der Begriff Brenngas ist nicht klar definiert. Da dieses Gas vornehmlich in den Grubenkraftwerken eingesetzt wurde, ist davon auszugehen, dass sich um ein braunkohlebasiertes Gas handelt. Die Zusammensetzung dieser Gase kann aber sehr unterschiedlich sein. Dementsprechend sind auch die Emissionsfaktoren sehr unterschiedlich. Sie liegen in einem Bereich von 118,6 – 131 t CO_2/TJ. Im Sinne eines konservativen Ansatzes, um die Basisjahremissionen nicht zu überschätzen, wird für die Inventarerstellung der niedrigste Emissionsfaktor verwendet. Im Energiewirtschaftlichen Jahresbericht 1989 wird für sonstiges Gas ein Heizwert von 5,3 MJ/Nm^3 ausgewiesen, was auf einen höheren Emissionsfaktor hinweist. Da in der Energiebilanz Kokereigas, Stadtgas und Brenngas zusammengefasst berichtet werden, sind die Heizwerte der einzelnen Gase nicht mehr feststellbar.

Sonstige hergestellte Gase werden im Wesentlichen in der Chemischen Industrie eingesetzt. Unter diesem Begriff werden sowohl hochkalorische Gase, mit einem hohen Wasserstoffanteil, als auch niederkalorische Fackelgase mit einem hohen Stickstoffanteil zusammengefasst. Der Emissionsfaktor wurde aus Emissionshandelsdaten für die Chemische Industrie berechnet. Dabei wurde der Mittelwert aus den Jahren 2008 – 2013 gebildet. Da sich die Heizwertangaben zwischen der Energiestatistik und dem Emissionshandel deutlich unterscheiden, die angegebenen Mengen in Kubikmeter aber gut zusammenpassen, wurde hierfür somit ein Emissionsfaktor berechnet, der sich auf diese natürliche Einheit bezieht. Aus Konsistenzgründen wurde bisher für die Inventarerstellung mit dem in der Energiestatistik verwendeten Heizwert gerechnet. Nach einer Auswertung der Energieeinsätze in Großfeuerungsanlagen wurden deutlich höhere Energiemengen als bisher generiert. Aufgrund der Diskrepanz, wurde entschieden zukünftig mit einem abweichenden Heizwert zu rechnen. Dadurch verringert sich der CO_2 Emissionsfaktor.

Für **Grubengas** wird über die vom Steinkohlenverband angegebene verwertete Methanmenge und die in der Energiebilanz angegebene Gesamtmenge in Kubikmetern ein Methangehalt ausgerechnet. Über die entsprechende Gaszusammensetzung wird ein CO_2 Emissionsfaktor berechnet. Da sich in einigen Jahren statistische Differenzen ergeben, wird, im Sinne eines konservativen Ansatzes mit dem niedrigsten Methangehalt gerechnet.

Da die im Emissionshandel verbuchte **Erdgas**menge nicht repräsentativ ist und häufig Default-Emissionsfaktoren verwendet werden, wurden in dem Projekt: „Messungen der Erdgasqualität an verschiedenen Stellen im Netz zur Ableitung bzw. Verifizierung von durchschnittlichen Emissionsfaktoren und Heizwerte von Erdgas“ (2014), von der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig eigene Analysen durchgeführt. Dabei wurden an 32 Standorten Deutschlandweit Messungen vorgenommen. Die Messstellen wurden so ausgewählt, dass alle wichtigen Importgase sowie die Eigenförderung erfasst wurden. Außerdem wurde ein in Deutschland verteiltes Gemisch analysiert. In den Fällen, in denen die Messung an einem Grenzübergabepunkt nicht möglich war, wurden alternative Messstellen gefunden. Die Schwankungsbreite der CO_2 Emissionsfaktoren innerhalb der Gasqualitäten ist sehr gering. Aber auch insgesamt schwanken die Werte nur geringfügig. Analog zu anderen Brennstoffen werden auch beim Erdgas keine sektorspezifischen Emissionsfaktoren ermittelt. Das ist in diesem Fall

aufgrund der Datenlage nicht möglich. Von daher erscheint es realistischer, auf nationaler Ebene gewichtete Emissionsfaktoren zu ermitteln. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der vorgenommenen Messungen und der Importströme sowie der Eigenproduktion. Diese Berechnungsmethode ist seit dem Jahr 2015 nicht mehr anwendbar, da größere Importmengen der Geheimhaltung unterliegen. Somit werden ab 2015 die aus den Emissionshandelsdaten berechneten gewichteten Mittelwerte verwendet, auch wenn diese nicht ganz representativ sind. In den Vorjahren liegen die Faktoren dicht beieinander.

18.8.5 Abfall und Sonderbrennstoffe

Für den **Abfall** wird gemäß VDI 3460 ein Kohlenstoffgehalt angenommen. Die Datenquelle für die Heizwerte ist die Energiestatistik. Die Daten für die **Sonderbrennstoffe** stammen aus dem Projekt: „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). Diese Daten müssen noch mit Hilfe der Emissionshandelsdaten überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Für Brennstoffe mit einem relevanten Biomasseanteil ist ein Vergleich mit ETS-Daten generell schwierig, da der Emissionsfaktor nicht in jedem Fall den Biomasseanteil berücksichtigt. Außerdem sind die Bezeichnungen im ETS nicht immer eindeutig. Da die Heizwerte der Sonderbrennstoffe deutlich stärker variieren als die der konventionellen Brennstoffe, ist eine eindeutige Identifikation über den Heizwert nicht möglich. Von daher ist ein solcher Vergleich deutlich aufwendiger. Während für die konventionellen Brennstoffe weitestgehend sektorübergreifende Emissionsfaktoren ermittelt werden, muss bei den Sonderbrennstoffen sektorspezifisch gerechnet werden.

Für wenige Sonderbrennstoffe konnten bereits Emissionshandelsdaten ausgewertet werden. Das betrifft **Altöl** und **Altkunststoff**. Diese Werte werden für die Kohlenstoffbilanz der Eisen & Stahlindustrie verwendet. Der Emissionsfaktor für **Altreifen** wurde aus ETS Daten aus dem Jahr 2010 berechnet.

18.8.6 Biomassebrennstoffe

Die Emissionsfaktoren für die Biomassebrennstoffe, die als **Ersatzbrennstoffe** in der Industrie eingesetzt werden, stammen ebenfalls aus dem Projekt: „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). Die CO_2 Emissionsfaktoren für **Holz** stammen aus dem Forschungsbericht „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung“ (Struschka et al., 2008).

Für die **Ablaugen** aus der Zellstofferzeugung wurden auf Grundlage von Betreiberangaben zur stofflichen Zusammensetzung jeweils Emissionsfaktoren für Sulfat- und Sulfitablaugen berechnet. Aus diesen beiden Werten wird jährlich über die produzierten Mengen an Sulfit- und Sulfatzellstoff ein gewichteter Mittelwert gebildet.

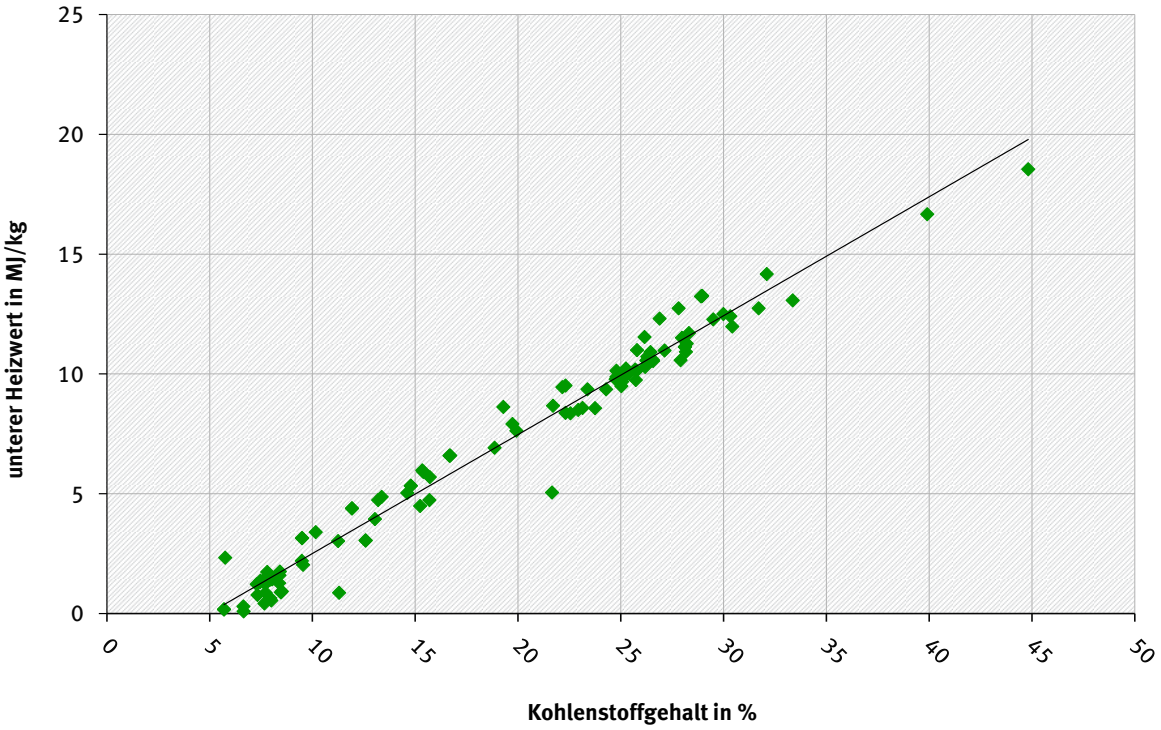
Zur Berechnung der CO_2 Emissionsfaktoren für **Biogas, Deponiegas** und **Klärgas** wurden zunächst Heizwerte aus der Energiestatistik ausgewertet. Aus den Heizwerten für die Jahre 2009 – 2011 wurden jeweils Mittelwerte berechnet. Aus diesem Heizwert wurde jeweils ein Methangehalt bestimmt. Da diese Gase neben Methan hauptsächlich aus Kohlendioxid und zu einem geringen Anteil aus Stickstoff bestehen, wird der Heizwert durch den Methangehalt bestimmt. Außerdem sind in den Biogasen noch Sonstige Kohlenwasserstoffe enthalten, deren Anteil ca. 1 % beträgt. Mit Hilfe dieser Gaszusammensetzung wurde ein CO_2 Emissionsfaktor berechnet.

Der Emissionsfaktor für **Bioethanol** wurde über die Anzahl der Kohlenstoffatome sowie die molare Masse von Ethanol berechnet. Der Heizwert wird vom Bundesverband der Deutschen

Bioethanolwirtschaft veröffentlicht. Für **Biodiesel** liegen keine eigenen Analysen vor. Deshalb wird der Default-Emissionsfaktor aus den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) verwendet.

Zur Bestimmung der CO_2 Emissionsfaktoren von **Klärschlamm, Altholz und Tiermehl** wurden Daten aus dem Emissionshandel ausgewertet. Für Tiermehl und Altholz wurde aus den von 2005 bis 2014 vorliegenden Daten zu Kohlenstoffgehalt und Heizwert der Median gebildet. Für Klärschlamm wurden zusätzlich Daten von kommunalen Entsorgern in die Auswertung einbezogen. Da Klärschlämme sowohl im Originalzustand als auch im getrockneten Zustand eingesetzt werden, reicht das Heizwertspektrum von < 1 MJ/kg bis 18 MJ/kg. Daraus folgend ist die Standardabweichung für die CO_2 Emissionsfaktoren so hoch, dass die Bildung eines Mittelwertes oder Median nicht zielführend wäre. Da der Kohlenstoffgehalt sehr gut mit dem Heizwert korreliert, kann aus der graphischen Darstellung eine entsprechende Formel abgeleitet werden (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 96: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Klärschlämme



Dadurch können mit Hilfe der in der Energiestatistik angegebenen Heizwerte für die Mitverbrennung und den Heizwerten für die Monoverbrennung die dazugehörigen Kohlenstoffgehalte und Emissionsfaktoren berechnet werden.

18.8.7 Liste der abgeleiteten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für Energie & Industrieprozesse

In den folgenden Tabellen geben einen Überblick über die im Inventar verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren.

Tabelle 537: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Energie

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlen																				
Steinkohle																				
Steinkohle roh (Kraftwerke, Industrie)	t CO_2/TJ	93,1	93,1	93,5	93,9	93,9	93,8	94,3	94,1	94,0	94,2	93,7	93,4	93,6	93,5	93,6	93,4	93,1	93,7	93,6
Steinkohlenbriketts	t CO_2/TJ	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9
Steinkohlenkoks (ohne Eisen & Stahl)	t CO_2/TJ	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,3	108,1	107,5	108,3
Steinkohlenkoks Eisen & Stahl	t CO_2/ t	3,29	3,26	3,23	3,19	3,18	3,16	3,17	3,17	3,18	3,17	3,17	3,20	3,19	3,17	3,17	3,18	3,18	3,18	3,19
Anthrazit (Wärmemarkt Haushalte, Kleinverbrauch)	t CO_2/TJ	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6
Balaststeinkohle *Alte Bundesländer*	t CO_2/TJ	95,2																		
Kokskohlen *Deutschland*	t CO_2/ t	2,96	2,93	2,90	2,87	2,86	2,86	2,85	2,85	2,86	2,85	2,86	2,85	2,89	2,90	2,88	2,87	2,88	2,89	2,89
Steinkohlen Eisen & Stahl	t CO_2/ t	2,92	2,92	2,92	2,95	2,99	2,96	2,91	2,86	2,89	2,89	2,91	2,96	2,97	2,90	2,88	2,94	2,90	2,93	2,94
Andere Steinkohlenprodukte	t CO_2/ t	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,27	3,29	3,29	3,30	3,30	3,32	3,32	3,32	3,32	3,33	3,32	3,31	3,32
Steinkohlenteer	t CO_2/ t	3,27	3,27	3,27	3,28	3,28	3,28	3,24	3,26	3,27	3,27	3,28	3,31	3,31	3,30	3,31	3,31	3,31	3,30	3,31
Benzol	t CO_2/ t	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,37	3,37	3,37	3,37	3,38
Braunkohle																				
Rohbraunkohlen																				
öffentliche Fernheizwerke *Deutschland*	t CO_2/TJ		111,7	110,8	111,1	111,2	111,3	111,5	111,4	110,7	110,7	111,0	110,7	110,9	111,0	111,2	111,4	110,8	110,6	110,7
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	113,8																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	110,0																		
Industrie, Kleinverbrauch *Deutschland*	t CO_2/TJ		106,0	109,8	108,2	107,3	107,4	106,5	106,1	106,3	106,0	105,0	105,1	103,8	104,0	105,8	106,2	106,4	106,5	106,0
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	114,7																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	107,7																		
öffentliche Kraftwerke Revier:																				
Rheinland	t CO_2/TJ	114,8	113,9	113,1	113,2	113,5	113,5	113,8	113,6	113,3	113,3	113,2	113,0	113,1	113,1	113,0	113,0	112,7	112,9	113,3
Helmstedt	t CO_2/TJ	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	95,2	97,3	96,7	101,7	97,9	103,3	101,1	99,5	97,9	NO	NO	NO	NO
Hessen	t CO_2/TJ	112,2	103,2	103,5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Lausitz	t CO_2/TJ	111,2	111,3	111,5	111,2	111,3	111,3	112,2	112,0	110,6	109,9	111,0	110,3	111,2	110,9	111,3	111,5	110,6	109,9	110,2
Mitteldeutschland	t CO_2/TJ	105,7	103,9	102,9	104,0	103,9	103,5	103,4	103,3	103,4	103,4	102,8	102,9	102,8	102,9	103,9	104,3	104,2	104,2	103,6
Braunkohlenbriketts *Deutschland*	t CO_2/TJ		98,3	99,0	99,3	99,0	99,6	99,8	99,4	99,0	99,3	99,3	99,1	99,6	99,4	99,5	99,3	99,0	99,0	99,2
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	99,5																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	96,6																		
Braunkohlenteer *Neue Bundesländer*	t CO_2/TJ	82,9																		
Braunkohlenteeröl *Neue Bundesländer*		78,6																		
Braunkohlenstaub und -wirbelschichtkohle *Deutschland*	t CO_2/TJ		97,6	98,1	98,1	98,1	97,9	98,0	97,8	98,0	98,1	98,0	98,0	98,1	98,0	98,1	98,1	97,5	97,5	97,5
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	98,3																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	96,1																		
Braunkohlenkoks *Deutschland*	t CO_2/TJ		109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	109,6																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	100,2																		
Torf *Alte Bundesländer, Deutschland*		101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Hartbraunkohle	t CO_2/TJ	96,4	96,4	96,5	NO	96,6	95,7	96,7	95,5	94,9	94,8	94,9	94,2	95,6	94,5	94,8	94,6	95,1	94,7	94,4

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mineralöle																				
Erdöl roh 4)	t CO_2/TJ	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
Ottokraftstoff	t CO_2/t	3,181	3,182	3,183	3,183	3,183	3,183	3,184	3,184	3,184	3,180	3,182	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	
Rohbenzin *Deutschland 4)*	t CO_2/TJ		73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
Alte Bundesländer 4)	*t CO_2/TJ*	73,3																		
Neue Bundesländer 4)	*t CO_2/TJ*	73,3																		
Kerosin 4)	t CO_2/TJ	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
Flugbenzin 4)	t CO_2/TJ	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
Dieselkraftstoff *Deutschland*	t CO_2/TJ		74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	74,0																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	74,0																		
Heizöl leicht *Deutschland*	t CO_2/TJ		74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	74,0																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	74,0																		
Heizöl schwer	t CO_2/TJ	79,8	79,8	79,8	79,6	79,7	79,8	80,1	79,0	79,7	79,9	80,1	80,0	81,3	80,9	81,6	80,8	79,9	79,4	79,7
Petroleum	t CO_2/TJ	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
Petrolkoks (ohne Katalysatorabbrand)	t CO_2/TJ	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	95,0	94,2	94,6	95,4	94,7	95,1	95,7	97,6	103,8	104,3	104,0	104,3	103,4
Flüssiggas *Deutschland (energetischer Verbrauch)*	t CO_2/TJ		65,3	64,4	65,3	65,4	66,6	65,2	65,3	65,3	65,4	65,4	65,4	65,5	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	65,6																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	65,6																		
Raffineriegas *Deutschland*	t CO_2/TJ		56,9	56,7	57,0	57,1	57,6	57,9	62,2	65,4	61,3	62,3	61,3	62,0	62,4	53,3	70,4	58,0	58,0	58,0
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	54,6																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	54,6																		
Andere Mineralölprodukte *Deutschland*	t CO_2/TJ		82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,5	82,5	82,8	82,9	82,6	82,7	82,3	80,9	83,0	80,4	80,1	80,4
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	82,1																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	82,1																		
Schmierstoff 4)		73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
Gase																				
Kokereigas *Deutschland*	t CO_2/TJ		41,0	41,0	40,7	41,1	40,6	40,9	41,1	40,3	41,6	41,2	41,8	41,2	41,3	41,1	40,7	40,9	40,8	41,0
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	41,0																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	43,6																		
Kokerei- und Stadtgas *Deutschland*	t CO_2/TJ		42,6																	
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	43,2																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	58,3																		
Gicht- und Konvertergas *Deutschland*	t CO_2/TJ		257,1	258,7	252,9	256,6	249,4	257,5	265,9	259,7	264,7	263,5	259,5	256,8	261,3	256,7	258,6	259,6	259,2	256,4
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	264,6																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	264,6																		
Brenngas *Neue Bundesländer*	t CO_2/TJ	118,4																		
sonstige hergestellte Gase *Deutschland*	t CO_2/1000 m^3	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Naturgase																				
Erdgas *Deutschland*	t CO_2/TJ		55,8	55,8	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,8	55,8	55,7	55,7	55,8
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	55,7																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	55,5																		
Erdölgas	t CO_2/TJ	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,7	61,9	61,4	61,5	61,5	63,2	62,0	61,6	61,9	62,5	63,6	62,2	61,0
Grubengas	t CO_2/TJ	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1
Abfall 2)																				
Hausmüll, Siedlungsabfall	t CO_2/TJ	109,6	96,9	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5
Industriemüll *Deutschland*	t CO_2/TJ		71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1
Alte Bundesländer	*t CO_2/TJ*	73,9																		
Neue Bundesländer	*t CO_2/TJ*	74,9																		
Sonderabfall Deutschland	t CO_2/TJ		83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0
Sonderbrennstoffe 1)																				
Altöl	t CO_2/TJ	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	74,6	76,8	75,9	75,9	77,3	75,6	75,5	75,3	76,3	75,4	75,1	77,6	76,9
Altkunststoff	t CO_2/TJ	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9
Altreifen	t CO_2/TJ	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
Bleicherde	t CO_2/TJ	NO	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2
Klärschlamm (2 MJ/kg)	t CO_2/TJ	NO	NO	NO	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9
Klärschlamm (4 MJ/kg)	t CO_2/TJ	NO	NO	NO	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4
Klärschlamm (6 MJ/kg)	t CO_2/TJ	NO	NO	NO	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2
Klärschlamm (8 MJ/kg)	t CO_2/TJ	NO	NO	NO	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1
Klärschlamm (10 MJ/kg)	t CO_2/TJ	NO	NO	NO	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3
Lösemittel (Abfall)	t CO_2/TJ	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2
Biomasse-Brennstoffe 3)																				
Ablaugen Zellstoffherstellung	t CO_2/TJ	121,1	121,1	110,3	104,8	99,2	98,6	98,1	97,6	98,3	98,0	98,2	97,9	97,5	97,8	97,9	97,4	97,8	97,5	
Faser-/Deinking-Rückstände	t CO_2/TJ	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9
Brennholz naturbelassen	t CO_2/TJ	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1
Holzabfälle, Resthölzer (Industrie)	t CO_2/TJ	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8
Holzabfälle, Resthölzer (Kleinverbraucher)	t CO_2/TJ	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
Rinde	t CO_2/TJ	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6
Tiermehle und -fette	t CO_2/TJ	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8
Biogas	t CO_2/TJ	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6
Deponiegas	t CO_2/TJ	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4
Klärgas	t CO_2/TJ	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9
Bio-Ethanol	t CO_2/TJ	NO	NO	NO	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6
Biodiesel 4)	t CO_2/TJ	NO	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sonstige Faktoren Einheit [kg/t]																				
Rauchgasentschwefelung	kg/t	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0

1) Brennstoffe nach Definition der Inventardaten können bei den Bezeichnungen von anderen Normen abweichen und sind nur bei Inventarausweisung benannt und mit EF unterlegt.

2) Jährliche Änderung des EF aufgrund der unterschiedlichen Anteile von Feuerungsanlagen und Betriebseigenen Anlagen. 1990 bis 1994 jeweils einzeln für Alte Bundeländer / Neue Bundeländer

3) Nennung für ausgewählte Brennstoffe, wobei errechnete CO_2-Emissionen nur nachrichtlich übermittelt werden und nicht in die Gesamtmengen des Inventars eingehen, Biomasseanteile aus Sonderbrennstoffen (s.o.) sind nicht gesondert aufgeführt, weil die CO_2-EF nicht unterschieden werden.

4) Defaultwerte

Anm.: **Bei der Verwendung von Stoffwerten aus dem NIR im Rahmen des ETS sind die Hinweise und FAQ der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zu beachten.**

Tabelle 538: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Industrieprozesse

Einheit [kg CO2/ t (Rohstoff oder Produkt)]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2.A.1 Produktion von Zementklinker	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00	530,00
2.A.2 Produktion von Branntkalk	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00	746,00
2.A.2 Produktion von Dolomitkalk	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00	867,00
2.A.3 Produktion von Behälterglas	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00	193,00
2.A.3 Produktion von Flachglas	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00
2.A.3 Produktion von Wirtschaftsglas	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
2.A.3 Produktion von Spezialglas	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00
2.A.3 Produktion von Glasfasern	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00
2.A.3 Produktion von Steinwolle	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00	299,00
2.A.3 Produktion von Glas[1)]	118,94	115,64	112,76	115,53	115,70	113,75	116,30	118,54	119,58	123,88	123,51	116,88	118,09	117,41	116,54
2.A.4.a Produktion von Keramik[2)]	71,79	74,91	69,47	61,53	59,20	58,76	58,42	58,30	56,43	54,74	55,56	54,79	53,46	53,75	53,23
2.A.4.b Verwendung von Soda	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00	415,00
2.B.1 Produktion von Ammoniak[3)]	2227,63	2246,17	2160,68	2190,69	2171,33	2091,96	2195,60	2107,36	1654,47	1507,97	1415,79	1396,84	1372,08	1382,85	1380,36
2.B.5 Produktion von Calciumcarbid	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2.B.7 Produktion von Soda	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2.B.8 Petrochemie	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
2.B.8.f Produktion von Ruß	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960
2.C.1 Produktion von Elektrostahl	8,50	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37
2.C.1 Produktion von Oxygenstahl, Kalksteineinsatz	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00
2.C.2 Produktion von Ferrolegierungen	1500,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
2.C.3 Produktion von Hüttenaluminium	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00	1367,00
2.C.5 Produktion raff. Blei (D)		371,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00
2.C.5 Produktion raff. Blei (ABL)	434,00														
2.C.5 Produktion raff. Blei (NBL)	200,00														
2.C.6 Zinkproduktion: Hütten- und Umschmelzzink	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00	1720,00

C = Vertrauliche Daten

ABL/ NBL/ D: Bezugsangabe für alte Bundesländer/ neue Bundesländer/ Deutschland gesamt

1) 2.A.3 über alle Glasarten: CO2-EF = (EM-Summe inkl. Altglaseinsatz)/ AR

2) 2.A.4.a über alle Produkte: CO2-EF = EM-Summe/ AR

3) 2.B.1: CO2-EF = (EM - Recovery amount)/ AR

Anm.: Bei der Verwendung von Stoffwerten aus dem NIR im Rahmen des ETS sind die Hinweise und FAQ der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zu beachten.

18.9 Analyse der CO_2-Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Energieträgern

In Deutschland werden Kohle, Öl und Gas weit überwiegend zu energetischen Zwecken genutzt. Ein Anteil der Kohlen, der Mineralöle und der Gase wird jedoch auch als Rohstoff (Feedstock) für Herstellungsprozesse verwendet – dies wird als der Nicht-Energetische Verbrauch (NEV) bilanziert.

In der deutschen Energiebilanz wird er in Zeile 43 separat ausgewiesen. Die chemische Industrie ist der dominierende Verbraucher von fossilen Energieträgern zu nichtenergetischen Zwecken. So werden fossile Energieträger in Crackern, in Reforming-Verfahren, in der Synthesegasherstellung und in der Herstellung von Graphitelektroden eingesetzt. Die wichtigsten Folgeprodukte dieser Prozesse sind für das Cracken und Reformieren Ethylen, Propylen, 1,3-Butadien, Benzol, Toluol und Xylole und für Synthesegas Ammoniak und Methanol. In Raffinerien werden Bitumen, Schmierstoffe und Paraffinwachse gewonnen. Bitumen wird u.a. für Straßenbeläge oder Bitumendachbahnen verwendet. Schmierstoffe werden u.a. im Straßenverkehr und in Maschinen eingesetzt. Ein Vergleich zwischen den in der Zeile 43 der Energiebilanz aufgelisteten Verbräuchen und den im Inventar unter Industrieprozesse berichteten Emissionen von CO_2 und NMVOC aus dem Einsatz von fossilen Energieträgern in nichtenergetischen Verwendungen ist ohne Anpassung nicht möglich. Denn bei den Industrieprozessen werden nur Emissionen bei der Herstellung oder Nutzung der Produkte betrachtet während in der Zeile 43 der gesamte Feedstock im Vordergrund steht. Dieser setzt sich zusammen aus prozessspezifischen Emissionen und den Kohlenstoffmengen, die in den Produkten gespeichert werden. Letztere machen den weitaus größeren Anteil des Feedstocks aus. Ein weiterer gravierender Unterschied ist, dass für die Berechnung der Emissionen aus der Nutzung der Produkte Import- und Exportmengen mit berücksichtigt werden. Um eine vollständige Bilanzierung zu ermöglichen, wurden in Tabelle 540 (s.u.) die in den Produkten gespeicherten Kohlenstoffmengen der fossilen Energieträger mitberücksichtigt. Die Zuordnung der Emissionen aus den stofflichen Anwendungen und Produkten zu den einzelnen Energieträgern orientiert sich an der Tabelle 1.3 aus Volume 3 der 2006 IPCC-GL und basiert auf Angaben von Verbänden, Produzenten und Experten. Teilweise mussten eigene Abschätzungen durchgeführt werden, wie sich der Einsatz auf die einzelnen Energieträger verteilt.

Die Produktionsmengen der in der Tabelle genannten Produkte wurden aus den gemeldeten Daten des Statistischen Bundesamtes und des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle übernommen und in CO_2-Äquivalente umgerechnet. Die Umrechnung erfolgte für die petrochemischen Produkte anhand des spezifischen Kohlenstoffgehaltes gemäß Tabelle 3.10 aus Volume 3 der 2006 IPCC-GL (IPCC, 2006b) und der molaren Masse von CO_2. Anschließend wurden die CO_2-Äquivalent-Emissionen auf die drei in Deutschland eingesetzten Feedstocks Naphta, Flüssiggas und andere Mineralölprodukte nach internen Verbandsangaben aufgesplittet.

Für Industrieruß wurde für das Produkt vereinfacht angenommen, dass es aus reinem Kohlenstoff besteht. Dieser wurde ebenfalls in CO_2-Äquivalente umgerechnet.

Die Produktionsmengen von Bitumen, Schmierstoffen und Paraffinwachsen stammen aus der amtlichen Mineralölstatistik und beziehen sich auf die Bruttoraffinerieerzeugung. Die Produktionsmengen wurden mit den folgenden IPCC Standardwerten (Tabelle 1.2 und Tabelle 1.4 aus Vol. 2 der 2006 IPCC GL IPCC (2006b)) in CO_2-Äquivalente umgerechnet.

Tabelle 539: IPCC Standardwerte für EF & Unteren Heizwert

	EF t CO_2/TJ	Unterer Heizwert TJ/kt
Bitumen	80,6	40,2
Paraffinwachs	73,3	40,2
Schmieröl	73,3	40,2

Die Summe des Kohlenstoffs aus den Emissionen und der Speicherung in den Produkten entspricht für das Jahr 2019, dem letzten Jahr für das eine entgültige Energiebilanz vorliegt (Bearbeitungsstand 25.02.2021) 107 % des nichtenergetischen Verbrauchs wie er in Zeile 43 der Energiebilanz gemeldet ist. Somit lassen sich die in der Energiebilanz als nichtenergetischer Verbrauch ausgewiesenen Mengen gut in der stofflichen Verwendung nachweisen. Eine Lücke in der Erfassung von nicht energiebedingten CO_2-Emissionen im Inventar ist nicht zu erkennen.

Tabelle 540: Verifikation der Vollständigkeit des berichteten CO_2 aus der nichtenergetischen Verwendung von fossilen Energieträgern

Jahr	2019	Einheit	Kohle			Mineralöl					Gas	
			Steinkohle + Steinkohlenkoks	Braunkohlen + Braunkohleprodukte	Summe Festbrennstoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralölprodukte	Summe Flüssigbrennstoffe	Erdgas	Summe Gas
A: Ausgewiesene NEU-Menge (Energiebilanzzeile 43)		TJ	3.096	13.972	17.067,6	384 344	6 728	94 718	248 259	734.049,0	143 999	143.999,0
B: Kohlenstoffgehalt		kg C/GJ	29,4	30,1		20,0	28,4	18,1	22,3		15,2	
C: Summe des Einsatzes als Feedstock/Nicht-energetische Verwendung		kt C	90,9	421,0	511,9	7.683,4	191,3	1.713,5	5.548,3	15.136,6	2.190,5	2.190,5
D: Summe des Einsatzes als Feedstock/Nicht-energetische Verwendung		**kt CO_2**	**333,2**	**1.543,7**	**1.876,9**	**28.172,5**	**701,5**	**6.283,0**	**20.343,9**	**55.501,0**	**8.031,9**	**8.031,9**
E: Impliziter oxidierter Kohlenstoffanteil		**%**	**141%**			**103%**	**100%**	**93%**	**131%**	**112%**	**89%**	**89%**

Jahr	2019	Einheit	Kohle			Mineralöl					Gas	
			Steinkohle + Steinkohlenkoks	Braunkohlen + Braunkohle-produkte	Summe Festbrennstoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralölpro-dukte	Summe Flüssigbrennstoffe	Erdgas	Summe Gas
	AR [kt]	EM [kt CO2]	AR + EM [C in Gg CO2]			AR + EM [C in Gg CO2]						
F: Summe berichtetes fossiles IPPU CO2		**6.995**	**469**			**29.119**	**702**	**5.824**	**26.682**	**62.326**	**7.155**	**7.155**
2 Industrieprozesse		**6.995**	**469**			**29.119**	**702**	**5.824**	**5.544**	**41.188**	**7.155**	**7.155**
2B: Chemische Industrie		**5.832**				**29.119**	**8**	**5.824**	**5.544**	**40.494**	**7.155**	**7.155**
2B1: Ammoniak Produktion	2.948	5.233									5.233	5.233
2B5: Karbid Produktion												
2B6: Titandioxid Produktion	C	8					8			8		
2B8: Petrochemie (1)		NE										
Methanol												
Ethylene	*1.398*										*1.922*	1.922
Propylen	*4.524*					*10.650*		*2.130*	*1.420*	*14.200*		
Butene und 1,3-Butadien	*3.439*					*8.098*		*1.620*	*1.080*	*10.798*		
Benzol	*2.111*					*5.155*		*1.031*	*687*	*6.874*		
Toluol	*1.514*					*3.842*		*768*	*512*	*5.123*		
Xylol	*547*					*1.373*		*275*	*183*	*1.830*		
Industrieruß												
2C: Metall Industrie	*301*	*591*							*1.661*	*1.661*		
2C1: Eisen- und Stahlproduktion (2)		1.164	**469**				**694**			**694**		
2C2: Produktion von Ferrolegierungen		IE										
2C3: Primäraluminiumproduktion	54	6	6									
2C5: Bleiproduktion (2)	508	694					694			694		
2C6: Zinkproduktion (2)	C	IE										

Jahr	2019	Einheit	Kohle			Mineralöl					Gas	
			Steinkohle + Steinkohlenkoks	Braunkohlen + Braunkohle-produkte	Summe Festbrennstoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralölpro-dukte	Summe Flüssigbrennstoffe	Erdgas	Summe Gas
	AR [kt]	EM [kt CO2]	AR + EM [C in Gg CO2]			AR + EM [C in Gg CO2]						
2D: Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen und Lösemitteln (1)									***21.138***	**21.138**		
Schmierstoffe	*2460*								*7.252*	*7.252*		
Wachse, Paraffine, Vaseline, etc.	*219*								*646*	*646*		
Bitumen	*4.083*								*13.240*	*13.240*		
Lösemittel und andere Produktverwendungen (3)	IE	IE				IE						

(1) Um eine vollständige Kohlenstoffbilanzierung zu gewährleisten, wird hier vom Berichtsformat der Quellgruppen im Inventar abgewichen. Darum sind die hier aufgeführten Produktionsmengen nicht mit dem Inventar in 2.B.8 und 2.D vergleichbar. Die Emissionen beziehen sich in der Tabelle auf eine vollständige Umwandlung der Produkte in CO_2 statt auf Emissionen in der Herstellung oder Anwendung wie in den Kategorien des Inventars.

(2) Aus Vertraulichkeitsgründen werden diese Daten aggregiert berichtet.

(3) Da ca. über 90% der Lösemittel aus Grundchemikalien aus Steamcrackern gewonnen werden, wird angenommen, dass der Kohlenstoff der im NMVOC emittiert aus den Produkten der Cracker stammt.

19 Anhang 3: Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für einzelne Quell- und Senkenkategorien, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten

19.1 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Energie (1)

19.1.1 Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen der neuen Bundesländer für das Jahr 1990 und der Folgejahre (1.A.1 und 1.A.2)

Die Probleme der amtlichen Statistik der DDR im Jahr der Wiedervereinigung 1990 und die Schaffung einer einheitlichen gesamtdeutschen amtlichen Statistik wirkten sich spürbar auf die Qualität der bisher berichteten Zahlen zu den Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen der neuen Bundesländer des Jahres 1990 (und Folgejahre) aus. Daher wurden diese Zahlen durch das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE gGmbH) im Forschungsvorhaben „Basisjahr und Aktualisierung“ (Zander and Merten (2006): FKZ 20541115) überprüft, ggf. vervollständigt bzw. korrigiert und dokumentiert.“ Zur näheren Beschreibung des Vorgehens bei der Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen verweisen wir auf den NIR 2010.

19.1.2 Energiewirtschaft (1.A.1)

19.1.2.1 Methodische Aspekte der Ermittlung der Emissionsfaktoren (Kapitel 3.2.6.2)

Dieser Teil des Anhangs erläutert die wesentlichen Schritte in den Forschungsvorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) zur Bestimmung von Emissionsfaktoren unter Ausschluss der CO_2-Emissionsfaktoren, deren Ermittlung dem Anhang 2 (Kapitel 18.8) zu entnehmen ist.

Die Ermittlung von Emissionsfaktoren erfordert eine detaillierte Analyse des Anlagenparks hinsichtlich der eingesetzten Technologien und des bauartspezifischen Emissionsverhaltens. Dabei werden drei übergeordnete Kategorien gebildet: Großfeuerungsanlagen, Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der TA Luft sowie Gasturbinen. Der Anlagenbestand wird hinsichtlich der emissionsbestimmenden Eigenschaften klassifiziert und die zugehörigen Emissionsfaktoren bestimmt. Diese so genannten technikspezifischen Faktoren können dann in adäquater Weise aggregiert werden. Diese Datenbasis bildet weiterhin die Grundlage für eine Abschätzung künftiger Emissionen (Veränderung der Anteile der Anlagentypen am Anlagenpark). Aus dieser Vorgehensweise ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

1. Charakterisierung des technikspezifischen Emissionsverhaltens der Feuerungsanlagen.
   In einem ersten Schritt werden die in Deutschland zum Einsatz kommenden Feuerungs- und Emissionsminderungstechniken kurz beschrieben und die emissionsbestimmenden Einflussfaktoren dargestellt. Ausgehend von dieser Charakterisierung werden für die verschiedenen Techniken, differenziert nach Größenklasse und Brennstofftyp, Emissionsfaktoren abgeleitet. Die gewählte Klassifikation orientiert sich dabei auch an den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben, was eine Gegenüberstellung der abgeleiteten Emissionsfaktoren mit derzeit oder künftig geltenden Grenzwerten ermöglicht.
2. Analyse der Quellgruppenstruktur
   Die Emissionsberechnung erfordert Emissionsfaktoren, die den gleichen Bezug wie die zugehörigen Energieeinsatzdaten aufweisen. Letztere sind nach Kategorien gegliedert, die sich aus der nationalen Energiebilanz (vergleiche Kapitel 3.2) ableiten und sich nicht an den eingesetzten Feuerungstechniken orientieren. Als Kategorien bezeichnet und analysiert werden im Rahmen des Vorhabens: Öffentliche Energieversorgung (CRF 1.A.1a),

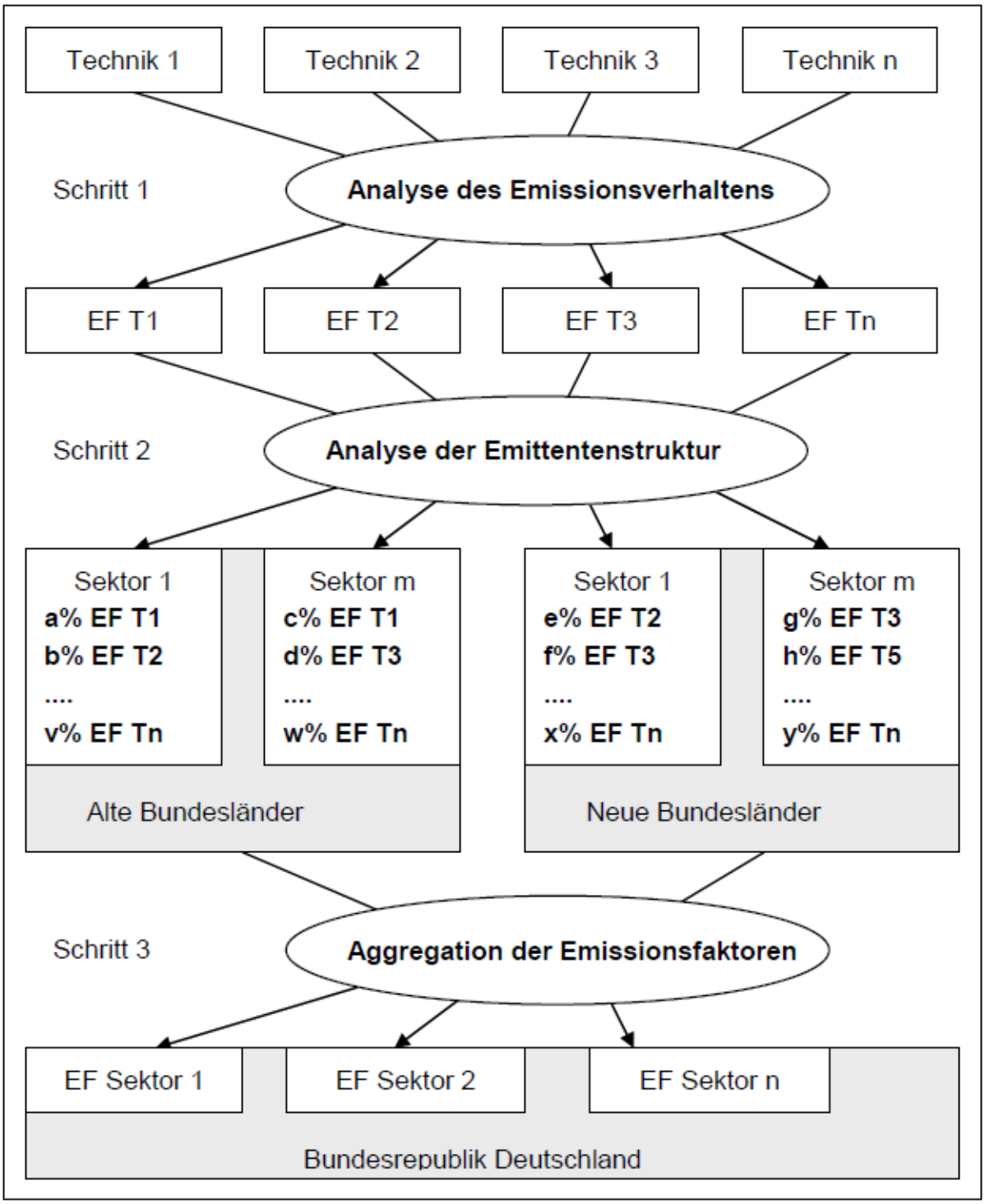
Industriekraftwerke (CRF 1.A.1c bei Kraftwerken des Bergbaus, sonst CRF 1.A.2), Fernheizwerke (CRF 1.A.1a), Raffineriekraftwerke (CRF 1.A.1b), Industriefeuerungen (CRF 1.A.1c und 1.A.2) sowie Kleinverbraucher (CRF 1.A.4 und 1.A.5).
Bei der Analyse sind die Anteile der verschiedenen Techniken am Energieeinsatz zu ermitteln. Wesentliche Datenquellen hierfür sind die Kraftwerksdatenbank des DFIU (heute KIT), einschlägige Statistiken, Verbandsmitteilungen (VGB, VDEW, VIK), Betreiberangaben und Fachveröffentlichungen. Weiterhin wurden die von einigen Landesbehörden zur Verfügung gestellten Auszüge aus den Emissionserklärungen der Jahre 1996 und 2004 diesbezüglich ausgewertet.

3. Aggregation der Emissionsfaktoren
Auf der Grundlage der Anteile der einzelnen Techniken, die getrennt nach alten und neuen Bundesländern ermittelt wurden, werden die technikspezifischen Emissionsfaktoren zu kategoriespezifischen Faktoren aggregiert. Abschließend werden Faktoren für Deutschland insgesamt gebildet. Die kategoriespezifischen Faktoren untergliedern sich weiterhin nach Großfeuerungen, TA Luft Feuerungen und Gasturbinen sowie nach dem eingesetzten Brennstoff. Die aggregierten Emissionsfaktoren werden zunächst für das Bezugsjahr 1995 (Rentz et al., 2002) bzw. für das Bezugsjahr 2004 (Fichtner et al., 2011) gebildet.
4. Projektionen für die Jahre 2000 und 2010 (Rentz et al., 2002) und für die Jahre 2010 und 2020 (Fichtner et al., 2011)
Zur Beschreibung der fortschreitenden technischen Entwicklung werden wiederum technikspezifische Emissionsfaktoren bestimmt. Diese leiten sich aus der Charakterisierung fortschrittlicher Technologien ab. Eine Zunahme emissionsarmer Techniken an der Gesamtaktivität kann so über eine entsprechende Veränderung der Technologieanteile abgebildet werden. Als Rahmenbedingung für die Fortschreibung werden die jeweils geltenden immissionsschutzrechtlichen Regelungen herangezogen. Für das Bezugsjahr 2010 wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen der novellierten TA Luft aus dem Jahre 2002 und der EU-Großfeuerungsanlagenrichtlinie aus dem Jahre 2001 umgesetzt sind; für das Bezugsjahr 2020 gehen wir davon aus, dass die Anforderungen der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates über Industrieemissionen umgesetzt sind.

Mit Hilfe der hier angewandten Methodik, ausgehend von der Emissionscharakteristik der eingesetzten Feuerungstechnik schrittweise zu aggregierten Faktoren auf unterschiedlicher regionaler und kategoriespezifischer Ebene zu gelangen, können die benötigten Faktoren in transparenter Weise gebildet werden.

Die gewählte Methodik zur Ableitung der Emissionsfaktoren für ein gegebenes Bezugsjahr ist in der nachfolgenden Abbildung 97 dargestellt.

Abbildung 97: Methodik der Emissionsfaktorenberechnung



Die Herkunft und Qualität der Daten wird in den Vorhabensberichten Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) eingehend beschrieben. Ein großer Teil der Daten entstammt den Emissionserklärungen der Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen für das Jahr 1996 und den Emissionserklärungen von allen Bundesländern (außer Berlin) für das Jahr 2004. Die darin angegebenen jährlichen Frachten beruhen dabei je nach Schadstoff entweder auf Messergebnissen einer kontinuierlichen Überwachung, auf Einzelmessungen oder auf einer Rechnung auf der Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten, Massenbilanzen oder Emissionsfaktoren. Am Beispiel der Emissionserklärungen des Landes Baden-Württemberg wird exemplarisch analysiert, für welche

Feuerungsarten und Substanzen welche Ermittlungsart überwiegt. Dies erlaubt im Anschluss eine Einordnung der Qualität der Datengrundlage für die abgeleiteten technikspezifischen Emissionsfaktoren. Gleichzeitig verdeutlicht die Darstellung die Vorgehensweise bei der Datenauswertung. Soweit eine ausreichende Anzahl von Daten einer Quellengruppe zur Verfügung steht, wird der Wertebereich über den Median sowie das Perzentil bei 25 % und 75 % charakterisiert[180]. Daraus erhält man eine robuste Schätzung, die, anders als bei der Charakterisierung über den Mittelwert, durch Extremwerte nicht verzerrt wird. Um grundsätzlich die Streuung der Werte zu beschreiben, werden auch die Perzentile bei 5 % und 95 % aufgeführt. Vergleichbare Auswertungen nach Perzentilen erfolgten ebenfalls für die Emissionserklärungen der anderen Bundesländer.

Nachfolgend wird zwischen gemessenen Daten (kontinuierliche Messung oder Einzelmessung) und solchen Daten unterschieden, die auf Rechnung oder Emissionsfaktoren beruhen. Bei der Auswertung werden die Einzeldaten daher zunächst nach Messdaten (M) und Annahmen (A) klassifiziert. Dieser allgemeine Überblick gliedert sich wiederum in Großfeuerungsanlagen, TA Luft Feuerungsanlagen und Gasturbinen. Diese werden weiterhin hinsichtlich der Erklärungspflicht unterteilt in verkürzt (K) und vollständig (V) zu erklärende Anlagen. Für jede der drei Anlagengruppen wird exemplarisch am Beispiel der Daten von Baden-Württemberg eine nach Messdaten und Annahmen getrennte Auswertung und Ableitung von Emissionsfaktoren vorgenommen.

Die Tabelle 541 fasst die berücksichtigten Anlagenarten nochmals nach 4. BImSchV-Nummer und Erklärungsart zusammen.

Tabelle 541: Anlagentypen nach Anhang der 4.BImSchV

Kennung		Großfeuerungsanlagen	Erklärungsart
1 01 1	Kraftwerke	≥ 50 MW für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe	V
1 02A 1	Feuerungsanlagen	≥ 50 MW für feste und flüssige Brennstoffe	V
1 02B 1	Feuerungsanlagen	≥ 50 MW für gasförmige Brennstoffe	V
Kennung		**TA Luft Anlagen**	**Erklärungsart**
1 02A 2	Feuerungsanlagen	1 - < 50 MW feste und flüssige Brennstoffe (außer Heizöl EL)	V
1 02B 2	Feuerungsanlagen	5 - < 50 MW Heizöl EL	K
1 02C 2	Feuerungsanlagen	10 - < 50 MW für Erdgas	K
	Feuerungsanlagen	10 - < 50 MW außer Erdgas	V
1 03 1	Feuerungsanlagen	> 1 MW andere Brennstoffe	V
Kennung		**Gasturbinenanlagen**	**Erklärungsart**
1 05 1	Gasturbinen	≥ 50 MW für Erdgas	K
	Gasturbinen	≥ 50 MW außer Erdgas	V
1 05 2	Gasturbinen	< 50 MW für Erdgas	K
	Gasturbinen	< 50 MW außer Erdgas	V

Bei den Analysen werden die Emissionsdaten nach Feuerungstechnik differenziert. Hierfür gibt Tabelle 542 einen Überblick über die Technologieeinteilung nach der Art/Typ Klassifikation.

180 Für den gesamten Wertebereich einer Variablen X lässt sich mit Hilfe der Summenhäufigkeitsverteilung abschätzen, welcher Anteil aller Untersuchungseinheiten maximal einen Wert x aufweist. Diesen Wert bezeichnet man als *Quantil* (engl.: quantile) bzw. bei Verwendung von prozentualen Anteilen als *Perzentil* (engl.: percentile). Das bekannteste Perzentil, das die untere Hälfte aller Werte von der Oberen trennt, ist das 50% Perzentil, der sogenannte *Median*. Das 25 und 75% Perzentil schneiden das untere und das obere Viertel der Verteilung ab. Man bezeichnet sie daher auch als untere und obere *Quartile* bzw. als erstes und drittes Quartil (der Median ist quasi das zweite Quartil).

Dabei umfassen die Kategorien 110 bis 118 im Wesentlichen feste Brennstoffe, 120 bis 125 flüssige Brennstoffe und 130 bis 132 gasförmige Brennstoffe.

Tabelle 542: Klassifikation der Quellen nach Feuerungstyp

Technologie	
Art/Typ	**Typ Bedeutung**
110	Feuerungen für feste Brennstoffe / Abfälle
111	Füllschachtfeuerungen
112	Feuerung mit Wurfbeschickung
113	Feuerung mit pneumatischer Beschickung
114	Unterschubfeuerung
115	Feuerung mit mechanisch bewegtem Rost
116	Staubfeuerung mit trockenem Ascheabzug
117	Staubfeuerung mit flüssigem Ascheabzug
118	Wirbelschichtfeuerung
120	Feuerungen für flüssige Brennstoffe / Abfälle
121	Mit Verdampferbrenner
122	Mit Druckzerstäubungsbrenner
123	Mit Dampfzerstäubungsbrenner
124	Mit Drehzerstäubungsbrenner
125	Mit Luftzerstäubungsbrenner
130	Feuerungen für gasförmige Brennstoffe / Abfälle
131	Mit atmosphärischem Gasbrenner
132	Mit Gasgebläsebrenner
141	Mehrstofffeuerungen
142	Mischfeuerungen
815	Gasturbinen

19.1.2.2 CO_2-Emissionen aus der Abgasentschwefelung (CRF 1.A.1, Kalksteinbilanz)

Im Rahmen des Forschungsprojekts Kalksteinbilanz (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 20541217/02) wurden für die Kategorie Strom- und Wärmeerzeugung in Öffentlichen Kraftwerken die Daten für die CO_2-Emissionen aus der Abgasentschwefelung (REA) ermittelt (siehe 3.2.6.2). Abgasentschwefelungsanlagen haben die Aufgabe, das in den Verbrennungsgasen enthaltene Schwefeldioxid durch chemisch-physikalische Prozesse in weniger schädliche Substanzen umzuwandeln. Kalkstein dient bei der Entschwefelung von Abgasen typischerweise als Reagenz. Die Entschwefelungstechnik richtet sich im Wesentlichen nach den immissionsschutzrechtlichen Anforderungen und der ökonomischen Verwertbarkeit der anfallenden Reststoffe (Gips). Im Bereich der Stromerzeugungsanlagen dominiert das Kalkstein-Waschverfahren. Gemessen an der installierten Leistung nutzen etwa 87 % der Kraftwerke in Deutschland dieses Verfahren (Rentz et al., 2002).

Die Entschwefelung mit $CaCO_3$ erfolgt nach mehreren Teilreaktionen. Zur stöchiometrischen Berechnung des Kalksteineinsatzes im Kalkstein-Waschverfahren wird die relevante chemische Brutto-Reaktionsgleichung für das Verfahren zugrunde gelegt (Strauß, 1998):

$$CaCO_3 + SO_2 + 1/2O_2 + 2H_2O \Longrightarrow CaSO_4.2H_2O + CO_2$$

Daraus kann das molare Gewichts-Verhältnis von Kalkstein zu Gips abgeleitet werden. Daraus folgt, dass pro angefallener Tonne Gips 581,39 Kilogramm Kalkstein eingesetzt werden. Aus den Angaben zum Gipsaufkommen lässt sich der theoretisch maximale Kalksteineinsatz für REA in Stein- und Braunkohlekraftwerken ableiten. Aus dem Gipsaufkommen ist jedoch nicht ersichtlich, ob Kalkstein oder Kalk eingesetzt wird. Um hierzu eine Aussage treffen zu können wurden Angaben des Bundesverbandes Kalk zur Absatzstatistik für ungebrannten und gebrannten Kalk für den Absatzbereich der Luftreinhaltung herangezogen. Über das

Massenverhältnis zwischen $CaCO_3$ und CO_2 lassen sich dann gemäß obiger Reaktionsgleichung die prozessbedingten CO_2-Emissionen bestimmen. Die Ergebnisse der Rechnung sind in folgender Tabelle wiedergegeben. Sie berücksichtigen die Zahlen zum Gipsaufkommen in allen Jahren seit 1990; für die Jahre 2009, 2010, 2012, 2013, 2017, 2018 und 2019 wurden die Zahlen zum Gipsaufkommen im Jahre 2020 aktualisiert (VGB Powertech E.V. 2021). Für das Jahr 2020 liegen noch keine Zahlen des Verbands vor. Für das Jahr 2020 haben wir daher eine Schätzung des Gipsaufkommens vorgenommen, die, ausgehend von den Zahlen für 2019 für das Gipsaufkommen in Stein- und Braunkohlekraftwerken und von den aus diesen Kraftwerken erzeugten Strommengen in den Jahren 2019 und 2020, eine Proportionalität zwischen der Jahresstromerzeugung und dem Gipsaufkommen unterstellt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da die erzeugten Jahresstrommengen sowohl bei Steinkohle (-26,09%) wie auch bei Braunkohle (-10,27%) im Jahre 2020 starkrückläufig waren.

Tabelle 543: CO_2-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung in Öffentlichen Kraftwerken

Jahr	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**
CRF 1.A.1					**Angaben in kt**					
CO2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	618	652	629	662	616	683	867	878	1.005	966
Jahr	**2001**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
CRF 1.A.1					**Angaben in kt**					
CO2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	1.135	1.069	1.094	1.156	1.162	1.142	1.076	1.017	985	952
Jahr	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
CRF 1.A.1					**Angaben in kt**					
CO2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	919	1.028	1.052	1.030	974	989	921	979	936	769
Jahr	**2020**									
CRF 1.A.1					**Angaben in kt**					
CO2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	646									

Quelle: Berechnung auf der Grundlage des Projektes Kalksteinbilanz (Lechtenböhmer et al. (2006c), FKZ 20541217/02), aktualisiert im Jahre 2008 (siehe NIR 2009)

Diese CO_2-Emissionen wurden im Inventar den Emissionen aus dem Einsatz fester Brennstoffe zugeordnet, weil hier die Ursache für die REA und die CO_2-Emissionen liegen. Nach einer Expertenschätzung des Forschungsnehmers liegt die Unsicherheit des Kalksteineinsatzes und damit auch die Unsicherheit der damit verbundenen CO_2-Emissionen bei +/- 10 %.

19.1.3 Verkehr (1.A.3)

19.1.3.1 Verkehr - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)

19.1.3.1.1 Ableitung der weiteren Emissionsfaktoren (1.A.3.a)

Kerosin

Die Emission von *Schwefeldioxid* ist direkt abhängig vom Schwefelgehalt des Kerosins, der regionalen und zeitlichen Schwankungen unterliegt. IPCC (2006b) geht hier mit einem EF von 1 kg SO_2/t Kerosin von einem Schwefelgehalt von 0,05 Gew.% aus. Nach Angaben des

Fachausschusses für Mineralöl- und Brennstoff-Normung[181] (FAM) liegt der typische Wert für den Gesamtschwefelgehalt von Kerosin in Deutschland derzeit bei etwa 0,01 Gew.%, also einem Fünftel des Ansatzes des IPCC. Im Inventarbericht 2009 wird ein Schwefelgehalt von 0,021 Gew.% für Kerosin angesetzt, basierend auf Messungen aus dem Jahre 1998 (Döpelheuer, 2002). Da ein durch verbesserte Verfahren und gesunkene Grenzwerte mit der Zeit abnehmender Emissionsfaktor plausibel erscheint, wird hier eine lineare Abnahme zwischen den Stützjahren 1990 (1,08 g SO_2/kg Kerosin), 1998 (0,4 g) und 2009 (0,2 g) vorgesehen. Dabei wird von einer vollständigen Umsetzung des Schwefels in Schwefeldioxid ausgegangen. - Wegen der direkten Abhängigkeit des Emissionsfaktors allein vom Schwefelgehalt des Kerosins wird dieser für beide Flugphasen verwendet.

NO_X- und *CO-Emissionen* werden mit Hilfe von impliziten Emissionsfaktoren berechnet, die auf TREMOD-AV-Berechnungen beruhen. Diesen unterliegen Flugzeugtyp- und Betriebszustand-spezifische EF, die zu einem Großteil der EMEP/EEA-Datenbank entstammen. Wenn einzelne Flugzeugtypen nicht direkt und auch nicht unter Verwendung von Flugzeugtypen mit ähnlichen technischen Daten zugeordnet werden können, muss stellenweise mit angepassten Emissionsfaktoren gearbeitet werden. Dazu wurden Regressionsberechnungen durchgeführt, bei denen Emissionsfaktoren über Emissionsfunktionen ermittelt wurden, die den Emissionsfaktor je Triebwerkstyp in Abhängigkeit des Startgewichts berechnen. Als Basis dieser Funktionen dienen die Emissionsfaktoren der vorhandenen Typen gemäß Knörr et al. (2012).

Die *NMVOC*-Emissionsfaktoren ergeben sich jeweils aus der Differenz der EF für Kohlenwasserstoffe und Methan.

Flugbenzin

Abgesehen vom für Kohlendiox verwendeten IPCC-default werden, analog zum Kerosin, sämtliche Emissionfaktoren dem Modell TREMOD AV entneommen.

Die *NMVOC*-Emissionsfaktoren ergeben sich darin jeweils aus der Differenz der EF für Kohlenwasserstoffe und Methan.

Tabelle 544: Emissionsfaktoren 2018 für Flugbenzin

	1.A.3.a		1.D.1.a	
	LTO	Reiseflug	LTO	Reiseflug
CO_2		70.000		
CH_4	165	0,00	137	0,00
N_2O		2,30		
SO_2		0,46		
NO_X	92,0	143	56,0	82,2
NMVOC	660	579	548	467
CO	17.028	21.025	22.827	29.108

Quelle: (Gores, 2021)

181 Persönliche Email-Kommunikation mit Dr. Feuerhelm, FAM Hamburg, 9.Juni 2009

Tabelle 545: Übersicht der Emissionsfaktoren für Kerosin, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.3.a - übergreifend																						
CO_2																						73.256
SO_2	19,7	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
National, LTO																						
CH_4	7,09	7,23	7,63	7,87	8,11	8,30	8,23	8,11	8,48	8,60	8,66	8,30	8,07	7,99	8,00	8,71	9,25	9,23	9,11	9,58	9,78	10,8
N_2O	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
NO_X	295	324	287	288	283	277	279	277	276	281	290	300	304	309	312	311	310	312	321	322	316	308
NMVOC	28,4	28,9	30,5	31,5	32,4	33,2	32,9	32,4	33,9	34,4	34,7	33,2	32,3	31,9	32,0	34,9	37,0	36,9	36,5	38,3	39,1	43,2
CO	212	211	275	277	285	294	291	291	292	286	280	266	260	254	252	260	265	265	252	255	262	276
National, Cruise																						
CH_4																						0,00
N_2O	2,34	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
NO_X	337	375	348	345	342	339	341	340	341	347	358	368	374	376	381	383	381	386	397	400	396	390
NMVOC	14,4	16,0	16,6	16,8	17,9	18,4	18,6	18,9	19,9	20,4	20,6	20,3	19,9	19,9	20,2	21,7	22,7	22,0	17,7	18,1	17,7	19,2
CO	147	149	186	190	204	211	206	203	203	203	204	202	197	197	201	212	219	214	154	151	152	155
International, LTO																						
CH_4	14,9	9,03	6,42	6,19	6,01	5,93	5,80	5,72	5,71	5,62	5,50	5,29	5,31	5,19	5,12	5,08	4,97	5,12	5,06	5,19	5,36	5,17
N_2O	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
NO_X	297	306	303	305	306	311	318	324	325	330	331	338	342	345	346	349	353	352	357	358	355	357
NMVOC	59,7	36,1	25,7	24,8	24,0	23,7	23,2	22,9	22,9	22,5	22,0	21,2	21,2	20,8	20,5	20,3	19,9	20,5	20,2	20,8	21,4	20,7
CO	249	227	236	234	234	230	227	219	217	211	209	203	203	199	199	197	194	196	192	192	195	192
International, Cruise																						
CH_4																						0,00
N_2O	2,34	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
NO_X	313	317	329	329	330	333	335	338	338	342	343	346	352	354	360	362	362	366	370	372	373	375
NMVOC	13,3	8,96	5,98	5,66	5,51	5,54	5,38	5,27	5,15	5,02	4,89	4,77	4,66	4,53	4,39	4,39	4,71	4,35	4,17	4,23	4,32	4,25
CO	73,8	61,6	47,7	46,8	46,2	45,7	43,8	42,4	41,5	40,6	39,7	38,6	37,8	37,3	37,0	36,8	40,1	36,2	34,2	34,2	34,7	34,6

Quelle: (Gores, 2021)

[a] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3.6, Tabelle 3.6.5: Methan-Emissionen während Reiseflug vernachlässigbar gering

19.1.3.1.2 Detailübersicht der für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren zugrunde gelegten Unsicherheiten (1.A.3.a)

Tabelle 546: Übersicht der zu berücksichtigen Teilunsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren

Einzelkomponenten		Teil-Unsicher-heiten		AR (Kerosin & Flugbenzin)		SF (LTO/ Cruise)		AR (Kerosin) LTO bzw. Cruise		EM(CO_2) LTO u. Cruise		EM(CH_4) LTO u. Cruise		EM(N_2O) LTO u. Cruise		Quelle / Begründung der Annahmen
		%		Ges.	n / i	n	i	n	i	n	i	n	i	n	i	
AR von AGEB und BAFA		-5	5	x	x											Öko-Institut / DIW 2007. Hier werden die höheren Unsicherheiten der Energiebilanz verwendet. Die Unsicherheiten der BAFA-Daten liegen bei +3, -1% (konservativ durch den Ansatz der Unsicherheiten der Mineralölstatistik, die auf den BAFA-Daten basiert.)
Splitfaktor national/international																Ergibt sich seit v42 aus den TREMOD-Berechnungen zum nationalen Flugverkehr im Verhältnis zur Energiebilanz. Keine eigene Einflussgröße mehr.
Kerosinverbrauch	n & i	-5,0	5					x	x							berechnet
Daten des Statistischen Bundesamtes zu Flugbewegungen	n	-0,1	0,1			x										Die Luftfahrtstatistik beruht auf dem Verkehrsstatistikgesetz. Erhoben werden die Angaben zu §§ 12, 13 VerkStatG. Nach diesem Gesetz ist die gesamte zivile Luftfahrt, die mit Flugzeugen, Hubschraubern, Luftschiffen, Motorseglern, Segelflugzeugen und bemannten Ballonen betrieben wird, in die Erhebung einzubeziehen, soweit davon die Flugplätze in Deutschland berührt werden.
	i	0	0,1				x									
Realdistanzzuschlag	n & i	-3	3			x	x									Die Daten des StBA liegen nach Großkreisentfernungen vor. Es wurde ein Umwegfaktor für die Cruise-Flugphase verwendet, um die tatsächlich geflogenen Strecken abzuschätzen (s. IFEU und Öko-Institut 2010).
Zuordnung von Kerosin-Verbrauchswerten zu Flugzeugtypen	n	-5	5			x										Flugzeugtypen nach StBA werden Emissionsfaktoren aus der EMEP-EEA Datenbank zugewiesen.Dabei gibt es vier Qualitätsstufen der Zuweiseung:a) direkt, b) über ähnliche Typen, c) über Regressionsfunktionen abh. vom Startgewicht und d) pauschale EF.
	i	-5	5				x									
LTO/Cruise-Aufteilung	n	-6	6					x								berechnet
	i	-6	6						x							berechnet
Kerosinverbrauch LTO bzw. Cruise	n	-8	8							x		x		x		berechnet
	i	-8	8								x		x		x	berechnet
Emissionsfaktoren	CO_2	5	5							x	x					IPCC 2006, S.3.69, geringe Unsicherheit, da EF nur vom C-Gehalt des Brennstoffs abhängig ist.
	CH_4	-57	100									x	x			IPCC 2006, S.3.69, abh. von Technologie und damit große Unsicherheit bei Vereinheitlichung durch Tier 1 Ansatz
	N_20	-70	150											x	x	IPCC 2006, S.3.69, abh. von Technologie und damit große Unsicherheit bei Vereinheitlichung durch Tier 1 Ansatz
Gesamt-Unsicherheit oben				+5%	+5%	+6%	+6%	+8%	+8%	+9%	+9%	+58%	+58%	+70%	+70%	
Gesamt-Unsicherheit unten				-5%	-5%	+6%	-6%	-8%	-8%	-9%	-9%	-100%	-100%	-150%	-150%	

n = nationaler Anteil, i = internationaler Anteil

Quelle:(Gores, 2021)

19.1.3.2 Ableitung der Aktivitätsraten zum Straßenverkehr (1.A.3.b)

19.1.3.2.1 Abgleich auf die Energiebilanz

Als Basis der ZSE-Datenerfassung des Straßenverkehrs wird der Endenergieverbrauch entsprechend den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zugrunde gelegt. Die Summe der Aktivitätsraten der einzelnen Strukturelemente muss für jedes Jahr den Angaben der Energiebilanz in Terajoule (TJ) entsprechen. Die Eckdaten der Energiebilanz sind in folgender Tabelle 547 dargestellt.

Tabelle 547: Energieeinsätze im Straßenverkehr seit 1990

	Ottokraftstoff	Dieselkraftstoff	Biokraftstoffe [a]	CNG, LPG und	Petroleum	Schmierstoffe [b]
Energieeinsätze gemäß Energiebilanzen 1990-2020 (Stand: 10/2021) in TJ						
1990	1.330.479	735.920	0	138	0	2.495
1991	1.332.285	785.174	0	137	0	1.668
1992	1.344.129	853.502	0	229	0	1.275
1993	1.350.617	907.787	0	184	473	857
1994	1.276.637	932.060	0	184	559	586
1995	1.299.982	964.013	1.504	138	610	447
1996	1.299.879	964.580	2.046	115	638	365
1997	1.297.487	979.586	3.652	106	357	261
1998	1.300.463	1.022.794	4.081	106	637	202
1999	1.300.602	1.097.036	5.370	100	637	113
2000	1.237.055	1.108.105	12.276	94	414	81
2001	1.199.318	1.097.416	16.740	98	471	73
2002	1.166.381	1.105.842	20.460	607	472	75
2003	1.108.989	1.078.352	29.948	694	0	71
2004	1.072.720	1.110.931	40.042	1.887	0	73
2005	992.377	1.078.620	78.897	5.484	0	77
2006	930.834	1.082.042	143.881	9.051	0	76
2007	892.982	1.073.987	155.752	14.787	0	79
2008	854.002	1.102.624	126.181	22.796	0	80
2009	829.227	1.114.939	113.765	32.285	0	86
2010	791.416	1.168.063	120.129	30.591	0	81
2011	787.803	1.197.252	115.828	32.384	0	80
2012	742.000	1.223.718	120.513	32.438	0	76
2013	741.150	1.283.637	109.358	30.508	0	77
2014	744.661	1.296.828	113.957	28.983	0	77
2015	708.672	1.348.789	105.764	26.420	0	77
2016	709.179	1.393.481	106.054	22.705	0	77
2017	719.580	1.425.424	108.049	21.316	0	77
2018	692.694	1.377.104	112.594	21.514	0	76
2019	699.835	1.390.837	111.781	21.147	0	76
2020	629.926	1.241.557	135.073	22.708	0	78

Quellen: Auswertetabellen der Energiebilanzen, Mineralöl-Zahlen des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV, 2020b) und Amtliche Mineralöldaten (BAFA, 2021).

[a] Biodiesel, Biobenzin und Biogas, [b] als Bestandteil von Zweitakter-Kraftstoffgemisch 1:50

Die Energiebilanz wird auch zur Modellierung der Verkehrsmengengerüste in TREMOD herangezogen. So führt das DIW zur Ableitung der Gesamtfahrleistung eine Kraftstoffverbrauchsberechnung durch Heilwig (2002). Die Ergebnisse der Berechnung werden für den PKW-Verkehr z.T. in TREMOD übernommen. Da das DIW mit der Kraftstoffverbrauchsberechnung die Inländerfahrleistung abbildet, werden in TREMOD zur Abschätzung der Inlandsfahrleistung – insbesondere für den Güterverkehr – z.T. andere Quellen

und Annahmen verwendet (siehe ausführliche Beschreibung in Knörr et al. (2002)). Auch diese Abschätzung berücksichtigt die Eckwerte der Energiebilanz.

Allerdings ist es aufgrund der zahlreichen Abhängigkeiten und Unsicherheiten in der Modellierung sowie der zu berücksichtigenden Eckdaten nicht mit vernünftigem Aufwand möglich, Fahrleistung und Energieverbrauch für jedes Jahr und jede Fahrzeugschicht so abzugleichen, dass die Ergebnisse einerseits die Summe der Energiebilanz ergeben und andererseits die Fahrleistungen und durchschnittlichen Energieverbräuche in der Zeitreihe plausibel sind. Aus diesem Grunde werden die TREMOD-Ergebnisse für den Energieverbrauch am Ende so korrigiert, dass sie jedes Bezugsjahr in der Summe den Werten der Energiebilanz entsprechen.

Da TREMOD den Energieverbrauch in Tonnen berechnet müssen die Ergebnisse zunächst in [TJ] umgerechnet werden. Dazu werden die Heizwerte der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen angesetzt (siehe Tabelle 548).

Tabelle 548: mittlere Heizwerte für Otto- und Dieselkraftstoffe

Geltungszeitraum	Ottokraftstoff	Dieselkraftstoff
1990-1992	43,543 MJ/kg	42,704 MJ/kg
ab 1993	43,543 MJ/kg	42,960 MJ/kg
ab 2014	42,280 MJ/kg	

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)

Die Korrekturfaktoren werden in TREMOD separat für die einzelnen Fahrzeugkategorien wie folgt abgeleitet:

- Zunächst wird ein Korrekturfaktor für Ottokraftstoff aus dem berechneten Ottokraftstoff-Verbrauch aller Fahrzeugkategorien und dem Absatz an Ottokraftstoff gemäß der Energiebilanz abgeleitet.
- Der Korrekturfaktor für den Ottokraftstoff wird auch für Diesel verbrauchende Fahrzeuge der PKW und sonstigen Fahrzeuge ≤ 3,5 t (Leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Wohnmobile, motorisierte Zweiräder (MZR)) zur Kraftstoffanpassung an die Energiebilanz verwendet.
- Die Differenz zwischen dem korrigierten Dieselkraftstoff-Verbrauch der PKW sowie der sonstigen Fahrzeuge ≤ 3,5 t und der Energiebilanz wird den schweren Nutzfahrzeugen und Bussen zugeordnet.
- Der Korrekturfaktor für die schweren Nutzfahrzeuge und Busse berechnet sich damit aus deren nach dem Inlandsprinzip berechneten Energieverbrauch und der für diese Gruppe berechneten Differenz zur Energiebilanz.

Die folgende Tabelle fasst die verwendeten Anpassungsfaktoren zusammen.

Tabelle 549: Korrekturfaktoren zur Anpassung an die Energiebilanz

	Ottokraftstoffe [a]	Dieselkraftstoffe [a]	
	Pkw, Leichte Nutzf., motor. Zweiräder	*Pkw, Leichte Nutzfahrzeuge*	*Schwere Nutzf., Busse*
1990	1,046	1,046	1,035
1995	1,012	1,012	0,992
2000	0,967	0,967	1,021
2005	0,917	0,917	0,838
2006	0,895	0,895	0,877
2007	0,882	0,882	0,833
2008	0,881	0,881	0,828
2009	0,870	0,870	0,867
2010	0,858	0,858	0,910
2011	0,867	0,867	0,891
2012	0,846	0,846	0,950
2013	0,867	0,867	0,960
2014	0,883	0,883	0,910
2015	0,880	0,880	0,927
2016	0,892	0,892	0,928
2017	0,905	0,905	0,928
2018	0,873	0,873	0,900
2019	0,870	0,870	0,915
2020	0,892	0,892	0,921

[a] jeweils inklusive biogene Beimischungen
Quelle: (Knörr et al., 2021c)

19.1.3.2.2 Zuordnung von Bio-Kraftstoffen, Petroleum sowie Erd- und Flüssiggas auf die Strukturelemente

Die Energiebilanz enthält für die einzelnen Verkehrsträger auch Angaben zu Biomasse sowie weiteren Kraftstoffen. Diese werden wie folgt weiter zugeordnet:

- Biodiesel und Bioethanol werden gemäß dem Anteil des jeweiligen Verkehrsträgers am Verbrauch des entsprechenden fossilen Kraftstoffs aufgeteilt.
- Petroleum wird den Bussen auf Außerortsstraßen entsprechend ihrem Anteil am Verbrauch von konventionellem Dieselkraftstoff zugeordnet.

19.1.3.2.3 Aktivitätsrate für Verdunstung

Als Aktivitätsrate für die Verdunstungsemissionen wird der gesamte Ottokraftstoff-Verbrauch *innerorts* angesetzt, bei Mopeds der *Gesamtverbrauch*. Es werden die Energiebilanz-korrigierten Werte verwendet.

19.1.3.3 Ableitung der Emissionsfaktoren

19.1.3.3.1 Emissionsfaktoren aus TREMOD

Im ZSE werden für *Antrieb* und *Verdunstung* aus spezifischeren TREMOD-Daten erzeugte implizite Emissionsfaktoren in [kg/TJ] bzw. [kg/t] angegeben. Für Ottokraftstoffe und Diesel können diese Werte direkt aus TREMOD abgeleitet werden. Hierfür werden die Emissionen in [t] sowie der Energieeinsatz in [TJ] (umgerechnet aus den Ergebnissen „Energieverbrauch in t“ mit den Heizwerten nach Tabelle 548) aus den TREMOD-Ergebnissen abgeleitet und entsprechend zugeordnet. Die impliziten Emissionsfaktoren (IEF) ergeben sich als Quotient aus den spezifischen Emissionen in [t] dividiert durch den spezifischen Energieverbrauch in [TJ].

$$IEF\ [kg\ pro\ TJ]_{\ Inventar} = EM\ [kg]_{\ spezifisch,TREMOD} \div AR\ [TJ]_{\ spezif.Verbrauch,TREMOD}$$

Hinsichtlich der impliziten Emissionsfaktoren für die Verdunstung wird analog vorgegangen:

$$IEF\ [kg\ pro\ t]_{\ Inventar} = EM\ [kg]_{\ spezifisch,TREMOD} \div AR\ [t]_{\ spezif.Verbrauch,TREMOD}$$

Grundsätzlich werden für diese Ableitung die nicht auf die Energiebilanz korrigierten TREMOD-Daten verwendet. Eine Verwendung der korrigierten Emissionen und Energieverbräuche würde allerdings, da sich der Korrekturfaktor bei der Berechnung der IEF gemäß

$$EM_{korr.} \div AR_{korr.} = EM_{TREMOD} \div AR_{TREMOD}$$

aufhebt, zu identischen Ergebnissen führen.

19.1.3.3.2 Emissionsfaktoren für Biodiesel, Bio-Ethanol, Petroleum, Erd- und Flüssiggas

Die Emissionsfaktoren für Biodiesel und Petroleum werden durchweg denjenigen von konventionellem Diesel gleichgesetzt. Die Emissionsfaktoren von Bioethanol werden denjenigen von konventionellem Ottokraftstoff gleichgesetzt.

Ausnahmen:

- Als EF(CO_2) von Biodiesel wird mit 70,8 t/TJ ein default gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 2 - Stationary Combustion, S. 2.20, Tab. 2.4 angesetzt.
- Der EF(SO_2) von Petroleum wird in den Jahren, in denen Dieselkraftstoff einen höheren Wert aufweist, mit 24 kg/TJ angesetzt. In allen anderen Jahren wird der niedrigere Wert von Dieselkraftstoff übernommen.

Wie für Diesel und Ottokraftstoffe werden auch für Flüssig- und Erdgas die Emissionsfaktoren aus dem „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 4.1“ (Keller et al., 2017) verwendet.

19.1.4 CO_2-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitakt-Ottomotoren

Innerhalb des deutschen Treibhausgas-Inventars werden für sämtliche mobilen Quellen CO_2-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung erfasst. Gemäß den Anforderungen an die Emissionsberichterstattung werden dabei die auf Zweitakt-Ottomotoren entfallenden Emissionen direkt der jeweiligen Emissionsquelle zugeordnet, da hier der Schmierstoff als Teil des Zweitakter-Kraftstoffgemisches betrachtet wird. Alle nicht von Zweitaktern verursachten Mitverbrennungs-Emissionen werden dagegen unter CRF 2.D.1 (Produktanwendung) berichtet. (siehe Kapitel 4.5.1)

Für die gesamte Zeitreihe ab 1990 wird vereinfacht davon ausgegangen, dass das in Deutschland getankte Zweitakt-Gemisch aus 49 Teilen Ottokraftstoff und einem Teil Schmiermittel zusammengesetzt ist (Gemisch 1:50). Zumindest für die Mehrzahl der Zweitakt-Fahrzeuge stellt dieses Mischungsverhältnis seit den Achtzigerjahren den Standard dar. Zu Motoren, die mit einem Verhältnis von 1:100 auskommen (neuere mobile Geräte wie Kettensägen, Rasenmäher etc.) liegen keine belastbaren Anwendungsdaten vor.

Zweitakt-Fahrzeuge kommen aktuell in Form von Mopeds und kleineren Motorrädern lediglich im Straßenverkehr zum Einsatz. Bis Ende der Neunzigerjahre bestand zudem ein Teil der PKW- und Nutzfahrzeug-Flotte aus noch in der DDR produzierten Zweitaktern.

Innerhalb TREMOD liegen entsprechende separate Verbrauchsangaben für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (bis 1999) sowie Zweiräder vor.

Angaben zum Einsatz *mobiler Zweitakt-Geräte* stehen aktuell sowohl für Haushalte (1.A.4.b ii) als auch die Forstwirtschaft (1.A.4.c ii) aus TREMODD MM heraus zur Verfügung.

Die Angaben zum Ottokraftstoffverbrauch im Straßenverkehr wie auch in den mobilen Quellen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen bzw. in den Haushalten entsprechen den Angaben der Energiebilanz.

Um die auf Zweitakter entfallenden Kraftstoffverbräuche vollständig abzubilden, müssen daher – gemäß dem Mischungsverhältnis von 1:50 – die Mengen hinzugefügter Schmierstoffe berechnet werden. Ausgehend von einem Anteil r_V von 2 Volumen-% muss dazu, über das Verhältnis der mittleren Dichten (ρ) und Heizwerte (H_i) beider Komponenten, der auf die Energiemenge in Terajoule bezogene Anteil r_E ermittelt werden:

$$r_{E\%} = r_{V\%} \times \frac{\rho_{Schmierstoff}}{\rho_{Kraftstoff}} \times \frac{\mathrm{H_{i_{Schmierstoff}}}}{\mathrm{H_{i_{Kraftstoff}}}}$$

$$r_{E\%} = 2\,\% \times \frac{0{,}875\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{l}}}{0{,}750\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{l}}} \times \frac{40{,}000\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}}{43{,}543\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}} = 2{,}1435\,\%$$

Aus den jährlich auf Zweitakter entfallenden Energieeinsätzen in [TJ] und Anteil r_E werden dann die als Teil des Zeitaktgemisches mitverbrannten Schmierstoffmengen in [TJ] berechnet.

Die CO_2-Emissionen aus der Schmieröl-Mitverbrennung in Zweitaktern des Straßenverkehrs können somit gesondert ausgewiesen werden (siehe Kapitel 3.2.10.2 & 19.1.3.2). In den CRF-Tabellen erfolgt dies unter CRF *1.A.3.b v – Other (please specify): CO_2 from lubricant co-incineration in 2-stroke road vehicles.*

Hinsichtlich mobiler Maschinen und Geräte wird keine gesonderte Schmierstoffmenge in Terajoule berechnet, sondern vereinfacht der auf diese Zweitakter entfallende Energieeinsatz um 2,1435 % nach oben korrigiert. Die CO_2-Emissionen aus der Schmieröl-Mitverbrennung in Zweitaktern in mobilen Maschinen und Geräten sind damit in den Gesamtemissionen der entsprechenden Sektoren enthalten (siehe Kapitel 3.2.12). Auch innerhalb der CRF-Tabellen entfällt damit eine gesonderte Ausweisung.

Emissionsfaktoren

Um die CO_2-Emissionen aus dem verbrannten Zweitakt-Gemisch im Inventar abzubilden, wurden für die gesamte Zeitreihe gewichtete implizite Emissionsfaktoren gebildet, die zu 49/50 aus dem jahresspezifischen EF(CO_2) für Ottokraftstoff (bzw. dem tier1-EF für Bioethanol) sowie zu 1/50 aus dem default-Wert von 73.300 kg CO_2/TJ für Schmierstoff gemäß (IPCC, 2006b): Band 2, Kap. 2 - *Stationary Combustion*, Seite 2.20, Tabelle 2.4 zusammengesetzt sind.

Diese IEF inkl. 2 Vol.% Schmierstoff liegen damit geringfügig über den für die reinen Kraftstoffe (Ottokraftstoff, Bioethanol) angesetzten Werten.

Tabelle 550: Ableitung der EF(CO_2) für Zweitaktgemische, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ottokraftstoffe	73.069	73.075	73.094	73.103	73.119	75.287	75.285	75.285	75.285	75.284	75.276
Biobenzin						71.607					
Schmierstoffe [a]						73.300					
Zweitaktmix											
fossil	73.074	73.079	73.098	73.107	73.123	75.247	75.245	75.245	75.245	75.244	75.237
biogen						71.641					

Quelle: eigene Berechnungen

[a] Default-Emissionsfaktor gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2 - *Stationary Combustion*, Seite2.20, Tabelle 2.4

Tabelle 551: CO_2 aus in Zweitakt-Ottomotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.A.3.b	183	32,8	5,90	5,64	5,97	5,65	5,67	5,65	5,54	5,59	5,72
1.A.4.b ii	2,35	1,91	1,34	1,15	1,31	1,50	1,48	1,47	1,46	1,45	1,39
1.A.4.c ii	4,52	4,39	4,86	4,46	2,38	2,63	2,49	2,51	2,82	2,68	3,35
Summe	**190**	**39,1**	**12,1**	**11,2**	**9,65**	**9,78**	**9,65**	**9,63**	**9,82**	**9,72**	**10,5**

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf (Knörr et al., 2021b; Knörr et al., 2021c)

Rückrechnungen gegenüber Submission 2021

Zum einen erfolgte eine alle Jahre umfassende Neuberechnung der Kraftstoffverbräuche von Straßen-Zweitaktern ab 2015. Zum anderen erfolgte eine Revision der Ottokraftstoff-Verbräuche der Zweitakter in 1.A.4.b ii.

Daraus resultiert die nachfolgend dargestellte Anpassung der Mengen mitverbrannter Schmierstoffe.

Tabelle 552: revidierte Mengen mitverbrannter Schmierstoffen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	2.589	534	165	154	132	132	130	130	133	131
Submission 2021	2.588	531	163	152	132	132	131	130	136	137
Änderung absolut	0,87	2,03	2,27	1,21	0,08	-0,16	-0,29	-0,44	-3,11	-5,89
Änderung relativ	0,03%	0,38%	1,39%	0,79%	0,06%	-0,12%	-0,22%	-0,34%	-2,29%	-4,30%

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 553: revidierte Kohlendioxid-Emissionen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	190	39,1	12,1	11,2	9,65	9,78	9,65	9,63	9,82	9,72
Submission 2021	190	38,9	11,9	11,2	9,65	9,79	9,67	9,66	10,0	10,1
Änderung absolut	0,06	0,15	0,17	0,09	0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,22	-0,43
Änderung relativ	0,03%	0,38%	1,39%	0,79%	0,06%	-0,12%	-0,22%	-0,34%	-2,20%	-4,21%

Quelle: eigene Berechnungen

Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Viertakt-Ottomotoren sowie sonstigen Motoren in Verkehrsträgern und mobilen Maschinen und Geräten wird dagegen als *Emission aus der Produktanwendung* separat unter CRF 2.D.1 berichtet. (siehe Kapitel 4.5.1)

19.1.5 Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen

Mit der vorliegenden Berichterstattung werden im deutschen Treibhausgas-Inventar erstmals die fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie die aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen erfasst und berichtet.

Aus Kapazitätsgründen war es dabei leider nicht möglich, die Erstellung und Implementierung eines auf landes- wie jahresspezifischen Daten beruhenden Ansatzes rechtzeitig abzuschließen. Aus diesem Grund wird für die aktuelle Submission auf einen Proxy-Ansatz zurückgegriffen, der im Folgenden ausführlich beschrieben wird.

Methodische Aspekte

Im Rahmen eines landesspezifischen Ansatzes sollen zukünftig jährliche statistische Daten zur Zusammensetzung der inländisch abgesetzten Biokraftstoffe Anwendung finden. Aktuell werden dagegen die in den einzelnen Quellgruppen aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierenden CO_2-Emissionen zugrunde gelegt.

Tabelle 554: aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierendes CO2, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid aus Biobenzin											
1.A.2.g vii	0	0	0	0,34	2,11	7,87	10,4	10,7	10,3	10,4	9,07
1.A.3.b	0	0	0	84,1	501	2.236	2.246	2.250	2.215	2.273	2.201
1.A.4.b ii	0	0	0	0,18	1,18	9,35	13,1	13,2	12,8	13,6	13,1
1.A.4.c ii	0	0	0	0,12	0,79	6,97	10,2	10,2	9,93	10,6	10,2
1.A.5.b	0	0	0	0,23	1,49	4,34	5,22	4,95	4,83	5,78	5,28
Zwischensumme	0	0	0	85,0	506	2.265	2.285	2.289	2.253	2.313	2.239
Kohlendioxid aus Biodiesel											
1.A.1.c	0	0,00	26,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.A.2.g vii	0	0	0	92,8	162	207	169	170	176	177	175
1.A.3.b	0	108	882	2.787	5.162	6.396	5.259	5.263	5.419	5.697	5.636
1.A.3.c	0	0	0	12,5	28,4	67,8	51,4	51,6	42,9	38,8	43,3
1.A.4.a ii	0	0	0	14,8	26,7	31,3	22,5	23,1	23,7	23,7	23,1
1.A.4.c ii	0,00	0,00	0,00	99,7	182	242	201	202	210	216	215
1.A.5.b	0,00	0,00	0,00	2,33	15,2	5,31	2,24	2,17	1,57	1,15	1,13
Zwischensumme	**0,00**	**108**	**908**	**3.009**	**5.577**	**6.949**	**5.705**	**5.712**	**5.872**	**6.154**	**6.094**
GESAMTMENGE	**0,00**	**108**	**908**	**3.094**	**6.083**	**9.214**	**7.990**	**8.001**	**8.125**	**8.467**	**8.332**

Quelle: eigene Berechnungen

In einem nächsten Schritt werden dann die fossilen Anteile dieser Emissionen berechnet. Dabei werden folgende konservative Annahmen getroffen:

- 100 % des Biodiesels werden aus FAME erzeugt.
- 5,50 % des in diesen FAME enthaltenen Kohlenstoffs sind fossilen Ursprungs.[182]
- 90 % des Biobenzins werden aus Bioethanol erzeugt, 10 % aus ETBE.
- 66,67 % des im ETBE enthaltenen Kohlenstoffs sind fossilen Ursprungs.[183]

Daraus ergeben sich folgende prozentuale Anteile fossilen Kohlenstoffs im eingesetzten Biodiesel und Biobenzin:

- 5,50 % des in Deutschland eingesetzten Biodiesels sind fossilen Ursprungs.
- 6,66 % des in Deutschland eingesetzten Biobenzins sind fossilen Ursprungs.

Basierend auf den oben dargestellten Gesamtemissionen resultieren daraus die min Tabelle 2 aufgeführten Kohlendioxid-Mengen, die den nationalen Gesamtemissionen zugerechnet werden.

Tabelle 555: CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
fossiles Kohlendioxid aus Biobenzin											
1.A.2.g vii	0,00	0,00	0,02	0,14	0,52	0,70	0,71	0,69	0,69	0,60	0,69
1.A.3.b	0,00	0,00	5,46	32,5	146	147	147	145	149	144	137
1.A.4.b ii	0,00	0,00	0,01	0,08	0,62	0,88	0,88	0,85	0,91	0,87	0,87
1.A.4.c ii	0,00	0,00	0,02	0,10	0,29	0,35	0,33	0,32	0,39	0,35	0,46
1.A.5.b	0,00	0,00	0,03	0,22	0,88	0,68	0,61	0,50	0,49	0,47	0,39
Zwischensumme	**0,00**	**0,00**	**5,54**	**33,1**	**148**	**149**	**150**	**147**	**151**	**146**	**140**

[182] WG I - Note on fossil carbon content in biofuels; Calculating the fossil fuel content of biofuels that replace fossil diesel (biodiesel)

[183] WG I - Note on fossil carbon content in biofuels; Table 1 - Carbon content and fossil fraction of carbon content of biogasoline

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
fossiles Kohlendioxid aus Biodiesel											
1.A.1.c	0,00	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.A.2.g vii	0,00	0,00	5,11	8,93	11,4	9,31	9,35	9,67	9,75	9,65	14,22
1.A.3.b	5,86	47,80	151	281	349	287	288	296	312	308	402
1.A.3.c	0,00	0,00	0,69	1,56	3,73	2,83	2,84	2,36	2,13	2,38	3,28
1.A.4.a ii	0,00	0,00	0,81	1,47	1,72	1,24	1,27	1,30	1,30	1,27	1,84
1.A.4.c ii	0,00	0,00	5,48	10,0	13,3	11,0	11,1	11,6	11,9	11,8	17,7
1.A.5.b	0,00	0,00	0,13	0,83	0,29	0,12	0,12	0,09	0,06	0,06	0,04
Zwischensumme	**5,86**	**49,3**	**164**	**304**	**379**	**312**	**312**	**321**	**337**	**334**	**439**
GESAMTMENGE	**5,86**	**49,3**	**169**	**337**	**527**	**461**	**462**	**468**	**488**	**480**	**578**

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 556: CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.A.2.g vii – Bauwirtschaftlicher Verkehr & mobile Maschinen der Bauwirtschaft											
aus Biobenzin	0,00	0,00	0,02	0,14	0,52	0,70	0,71	0,69	0,69	0,60	0,69
aus Biodiesel	0,00	0,00	5,11	8,93	11,4	9,3	9,3	9,7	9,8	9,6	14,2
Gesamtmenge 1.A.2.g vii	0,00	0,00	5,13	9,07	11,9	10,0	10,1	10,4	10,4	10,3	14,9
1.A.3.b - Straßenverkehr											
aus Biobenzin	0,00	0,00	5,46	32,5	146	147	147	145	149	144	137
aus Biodiesel	5,86	47,8	151	281	349	287	288	296	312	308	402
Gesamtmenge 1.A.3.b	**5,86**	**47,8**	**157**	**313**	**495**	**434**	**435**	**441**	**460**	**453**	**539**
davon: PKW	1,85	14,3	66,0	148	288	272	274	277	286	279	301
davon: LNF	0,42	4,20	14,3	27,5	32,6	28,4	29,4	31,4	34,1	34,3	47,4
davon: SNF (inkl. Busse)	3,59	29,3	76,5	137	170	130	127	129	136	136	187
davon: Zweiräder	0,00	0,00	0,12	0,75	3,50	3,66	3,73	3,69	3,78	3,66	3,95
1.A.3.c - Schienenverkehr											
aus Biodiesel	0,00	0,00	0,69	1,56	3,73	2,83	2,84	2,36	2,13	2,38	3,28
1.A.4 – Fahrzeuge und mobile Maschinen in GHD, Land- und Forstwirtschaft											
aus Biobenzin											
1.A.4.b ii	0,00	0,00	0,01	0,08	0,62	0,88	0,88	0,85	0,91	0,87	0,87
1.A.4.c ii	0,00	0,00	0,02	0,10	0,29	0,35	0,33	0,32	0,39	0,35	0,46
Zwischensumme	**0,00**	**0,00**	**0,03**	**0,18**	**0,91**	**1,22**	**1,21**	**1,17**	**1,29**	**1,22**	**1,34**
aus Biodiesel											
1.A.4.a ii	0,00	0,00	0,81	1,47	1,72	1,24	1,27	1,30	1,30	1,27	1,84
1.A.4.c ii	0,00	0,00	5,48	10,03	13,32	11,04	11,13	11,55	11,86	11,82	17,72
Zwischensumme	**0,00**	**0,00**	**6,30**	**11,50**	**15,04**	**12,28**	**12,39**	**12,86**	**13,16**	**13,10**	**19,56**
Gesamtmenge 1.A.4	**0,00**	**0,00**	**6,33**	**11,67**	**15,95**	**13,50**	**13,60**	**14,03**	**14,46**	**14,32**	**20,90**
1.A.5.b – militärischer Verkehr											
aus Biobenzin	0,00	0,00	0,03	0,22	0,88	0,68	0,61	0,50	0,49	0,47	0,39
aus Biodiesel	0,00	0,00	0,13	0,83	0,29	0,12	0,12	0,09	0,06	0,06	0,04
Gesamtmenge 1.A.5.b	**0,00**	**0,00**	**0,16**	**1,06**	**1,18**	**0,80**	**0,73**	**0,58**	**0,56**	**0,53**	**0,43**

Quelle: eigene Berechnungen

Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz

Die hier zugrunde gelegten Unsicherheitenangaben entsprechen den in den einzelnen Quellkategorien für die eigentlichen Biokraftstoffe gemachten Angaben und werden über die gesamte Zeitreihe hinweg konsistent angewendet.

Spezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung

Eine über die hinsichtlich der in den einzelnen Quellkategorien eingesetzten eigentlichen Biokraftstoffe hinaus gehende allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung ist nicht erfolgt. Dies wird erst nach erfolgreicher Implementierung der landesspezifischen Methodik erfolgen.

Spezifische Rückrechnungen

Gegenüber Submission 2021 erfolgen Rückrechnungen aufgrund innerhalb der einzelnen CRF-Kategorien korrigierter Biokraftstoff-Einsatzmengen, die hier jedoch nicht im Einzelnen dargestellt werden.

Besagte Anpassungen der Aktivitätsdaten resultieren in revidierten fossilen Kohlendioxid-Mengen aus der Verbrennung von Biodiesel und Biobenzin.

Tabelle 557: revidierte fossile CO_2-Emissionen aus Biokraftstoffen, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Submission 2022	0,00	5,86	49,3	169	337	527	461	462	468	488
Submission 2021	0,00	5,97	50,0	171	341	534	466	467	473	492
Änderung absolut	0,00	-0,11	-0,70	-1,95	-4,05	-6,17	-4,94	-4,75	-4,54	-4,43
Änderung relativ		-1,84%	-1,40%	-1,14%	-1,19%	-1,16%	-1,06%	-1,02%	-0,96%	-0,90%

Quelle: eigene Berechnungen

Geplante Verbesserungen

Aktuell sind keine über die alljährliche Revision der zugrundeliegenden Modelle hinaus gehenden.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 476 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 475 abgebildet.

19.2 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Industrieprozesse (2)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

19.3 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Landwirtschaft (3)

19.3.1 Schätzung der Emissionen zusätzlicher Tierkategorien

Die CRF-Tabellen unter IPCC (2006b Vol 4) sehen die Emissionsberichterstattung für zusätzliche, in Kapitel 5 nicht berücksichtigte Tierkategorien vor:

- Deer (Gehegewild),
- Rabbit (Kaninchen),
- Reindeer (Rentiere),
- Ostrich (Strauße),
- Fur-bearing animals (Pelztiere).

Rentiere werden in Deutschland nicht gehalten. Für die übrigen vier Kategorien werden nachfolgend die Treibhausgasemissionen mit Tier-1-Verfahren exemplarisch für ein Jahr geschätzt. Tabelle 558 fasst die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammen. Diese Daten dienen als Grundlage für die Entscheidung, dass die entsprechenden Emissionen als geringfügig einzustufen sind und daher nicht im NIR berichtet werden müssen, siehe Kapitel 21.

Tabelle 558: Gesamt-THG-Emissionen von Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren

	CH_4 [kt a^{-1}]	N_2O [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt	**5,635**	**0,108**	**172,91**
Gehegewild	5,348	0,085	159,11
Kaninchen	0,194	0,011	7,98
Strauße	0,043	0,003	1,83
Pelztiere (Nerze)	0,050	0,009	3,99

19.3.1.1 Tierplatzzahlen

In Deutschland gibt es für Gehegewild, Kaninchen, Strauße und Pelztiere keine offizielle Erhebung der Tierzahlen. Tabelle 559 zeigt unter Angabe der verwendeten Informationsquelle Schätzungen des Statistischen Bundesamtes zum mittleren Tierbestand (Statistischen Bundesamt, Referat G 105, C. Schreiner, pers. Mitteilung, 2012). Diese Zahlen werden als durchgängig belegte Tierplätze (AAP) interpretiert (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die FAO bietet für Kaninchen ebenfalls Zahlen an, die aber weit unter den nationalen Zahlen liegen; daher ist der Ansatz, der hier gewählt wird, als konservativ einzustufen.

Tabelle 559: Mittlerer jährlicher Tierbestand nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes

	Tierbestand	Quelle
Gehegewild	264.500	Landesverbände für landwirtschaftliche Wildtierhaltung, Umfrage im Zeitraum 2008/2009
Kaninchen	440.000	Bundesverband deutscher Kaninchenfleisch- und –wollerzeuger e.V.
Strauße	7.632	Tierseuchenkasse (2012)
Pelztiere (Nerze)	63.500	Länderabfrage zur Haltung von Pelztieren (Stand März 2012)

19.3.1.2 CH_4-Emissionen aus der Verdauung

Für Strauße werden keine CH_4-Emissionen aus der Verdauung berechnet, da IPCC (2006b Vol 4) keine Methodik angibt. Die Emissionsberechnung für Gehegewild, Kaninchen und Pelztiere erfolgt durch Multiplikation der Tierzahl mit dem entsprechenden Emissionsfaktor.

Für Gehegewild wird der CH_4-Default-Emissionsfaktor aus IPCC (2006b Vol 4, 10.28, Table 10.10) verwendet (20 kg pl^{-1} a^{-1}).

Dagegen gibt IPCC (2006b Vol 4) keinen Emissionsfaktor für Kaninchen an. Laut Fußnote 1 zur Table 10.10 auf S. 10.28 in IPCC (2006b Vol 4) kann der Emissionsfaktor approximiert werden, indem man eine Tierkategorie mit ähnlichem Verdauungssystem auswählt und deren Emissionsfaktor mithilfe des mit 0,75 potenzierten Verhältnisses der Tiergewichte skaliert. Für eine solche Schätzung wurde das Pferd als Vergleichstier gewählt, da es weder Wiederkäuer (Rind, Schaf, Ziege) noch Allesfresser (Schwein) ist. Nach IPCC (2006b Vol 4, 10.28, Table 10.10) wird für das Pferdegewicht mit 550 kg pro Tier gerechnet. Das Kaninchengewicht wird mit 3,0 kg angesetzt (Lebendendgewicht eines Mastkaninchens, nach LfL Bayern (2006)). Mit dem CH_4-Emissionsfaktor für Pferde (18 kg pl^{-1} a^{-1}, IPCC (2006b Vol 4, 10.28, Table 10.10)), ergibt sich damit für Kaninchen ein CH_4-Emissionsfaktor von 0,36 kg pl^{-1} a^{-1}.

Für Pelztiere wird der von anderen Ländern (Estland, Island, Lettland, Litauen, Norwegen; jeweils NIR 2017) verwendete CH_4-Emissionsfaktor von 0,1 kg pl^{-1} a^{-1} übernommen.

Tabelle 560 zeigt die beispielhaft berechneten jährlichen Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren.

Tabelle 560: CH_4-Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren

	EF [kg pl^{-1} a^{-1}]	CH_4 [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt		5,45	136,37
Gehegewild	20,00	5,29	132,25
Kaninchen	0,36	0,16	3,96
Pelztiere (Nerze)	0,10	0,0064	0,16

19.3.1.3 CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Es werden die Default-Emissionsfaktoren aus IPCC (2006b Vol 4, 10.83, Table 10A-9) verwendet. Die resultierenden Emissionen sind Tabelle 561 zu entnehmen.

Tabelle 561: CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren

	EF [kg pl^{-1} a^{-1}]	CH_4 [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt		**0,180**	**4,50**
Gehegewild	0,22	0,058	1,45
Kaninchen	0,08	0,035	0,88
Strauße	5,67	0,043	1,08
Pelztiere (Nerze)	0,68	0,043	1,08

19.3.1.4 N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Zur Berechnung der N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management wird die N-Ausscheidung sowie ggf. die Aufteilung der Tierpopulation auf verschiedene Haltungssysteme benötigt. Letzteres ist für Gehegewild, Kaninchen, Pelztiere und Strauße in Deutschland nicht bekannt. Es wird daher vereinfachend für Gehegewild ganzjährige Freilandhaltung und für Kaninchen, Pelztiere und Strauße eine ganzjährige Haltung in festmistbasierten Ställen angenommen. Zu den N-Ausscheidungen siehe Kapitel 19.3.1.4.1. Die resultierenden N_2O-Emissionen finden sich in Kapitel 19.3.1.4.2.

19.3.1.4.1 N-Ausscheidungen

Weder IPCC (2006b Vol 4) noch EMEP/EEA (2019) geben einen Default-Wert für die N-Ausscheidung von Gehegewild an. Für die deutschen Berechnungen wurde der Wert aus Dänemark verwendet (16 kg pl^{-1} a^{-1}, UNFCCC (2021a)), da davon ausgegangen wird, dass die Gehegewildhaltung in Dänemark und Deutschland vergleichbar ist.

Für Kaninchen gibt IPCC (2006b Vol 4, 10.59, Table 10.19), eine Default-N-Ausscheidung von 8,1 kg pl^{-1} a^{-1} an. Dieser Wert erscheint unrealistisch hoch, da er in der Größenordnung des Gesamtzuwachses an Lebendmasse pro Tierplatz und Jahr liegt. Letzterer berechnet sich bei jährlich ca. vier Durchgängen (n_{round}, abgeleitet aus 87 Tagen Mastdauer nach LfL Bayern (2006)) und einem Lebendendgewicht von ca. 3 kg Tier^{-1} (siehe ebenfalls LfL Bayern) zu rund 12 kg pl^{-1} a^{-1}. Daher wird die N-Ausscheidung von Kaninchen auf Grundlage der tierischen N-Bilanz geschätzt, siehe Gleichung 64:

Gleichung 64: Berechnung der N-Ausscheidung von Kaninchen (N-Bilanz)

$$N_{excr,\,rabbit} = n_{round} \cdot \Delta w_{round} \cdot (x_N \cdot x_{XP,\,feed} \cdot x_{feed} - x_{N,\,ret})$$

mit

$N_{excr,\,rabbit}$	N-Ausscheidung (in kg Platz^{-1} a^{-1})
n_{round}	Anzahl der Mastdurchgänge pro Jahr (in Durchgang a^{-1})
Δw_{round}	Gewichtszunahme pro Mastdurchgang (in kg Durchgang^{-1} Platz^{-1})
x_N	N-Gehalt von Rohprotein (1/6,25 kg kg^{-1})
$x_{XP,\,feed}$	Rohprotein-Gehalt des Futters (Frischmasse) (in kg kg^{-1})

x_{feed}	Futteraufwand (Frischmasse) pro kg Gewichtszunahme (in kg kg^{-1})
$x_{N, ret}$	spezifische N-Retention (kg kg^{-1})

In konservativer Weise wird Δw_{round} vereinfachend mit dem Mastendgewicht (siehe oben) gleichgesetzt. Der Rohproteingehalt des Futters, $x_{XP,feed,}$ liegt nachBeduco NV (2020) bei etwa 0,17 kg kg^{-1}. Der Futteraufwand x_{feed} beträgt ca. 3,5 kg kg^{-1} (LfL Bayern, 2006). Laut DLG (2005), S.12, ist $x_{n,ret}$ = 0,03 kg kg^{-1}. Damit ergibt Gleichung 64 eine N-Ausscheidung von 0,8 kg pl^{-1} a^{-1}.

Für Strauße geben weder IPCC (2006b Vol 4) noch EMEP/EEA (2019) Defaultwerte für die N-Ausscheidung an. Für die deutschen Berechnungen wird auch hier der dänische Wert verwendet (UNFCCC, 2021a): 15,6 kg pl^{-1} a^{-1}.

Für Nerze gibt gibt IPCC (2006b Vol 4, 10.59, Table 10.19) eine Default-N-Ausscheidung von 4,59 kg pl^{-1} a^{-1} N an.

19.3.1.4.2 Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Die direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Kaninchen, Pelztiere und Strauße ergeben sich aus der Multiplikation der Tierplatzzahl mit der jährlichen N-Ausscheidung pro Platz, dem entsprechenden N_2O-N-Emissionsfaktor (0,005 kg kg^{-1} für Kaninchen und Pelztiere sowie 0,001 kg kg^{-1} für Strauße, siehe Kapitel 5.3.4.2.2) und dem Molgewichtsverhältnis von N_2O zu N (44/28). Für Gehegewild entsteht im Bereich Wirtschaftsdünger-Management keine N_2O-Emission, da die Freilandhaltung als „Weidegang" anzusehen ist; die daraus resultierenden Emissionen werden bei den direkten N_2O-Emissionen aus Böden berichtet, siehe Kapitel 19.3.1.6.

Tabelle 562: Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren

	N_{excr} [kg pl^{-1} a^{-1}]	N_2O [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt		**0,005**	**1,56**
Gehegewild	16	NO	NO
Kaninchen	0,8	0,003	0,82
Strauße	15,6	0,0002	0,06
Pelztiere (Nerze)	4,59	0,002	0,68

19.3.1.5 Indirekte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Indirekte N_2O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss werden wie bei den anderen Tieren (siehe Kapitel 5.3.1) nicht berechnet. Die Berechnung indirekter N_2O-Emissionen infolge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Lager wird im Folgenden beschrieben. Stickstoffeinträge aus Einstreu können dabei mangels Daten nicht berücksichtigt werden.

Zunächst werden die NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Lager ermittelt. Die Berechnung der NO-Emissionen erfolgt dabei analog zur Berechnung der direkten N_2O-Emissionen aus Stall und Lager (siehe Kapitel 19.3.1.4.2). Der Emissionsfaktor wird wie bei den anderen Tieren (siehe Kapitel 5.3.4.2.2) mit zehn Prozent des N_2O-Emissionsfaktors angesetzt: 0,0013 kg kg^{-1} für Kaninchen und Pelztiere bzw. 0,0001 kg kg^{-1} für Strauße.

Die NH_3-Emissionen aus dem Stall werden durch Multiplikation der ausgeschiedenen TAN-Menge (total ammoniacal nitrogen) mit dem entsprechenden Emissionsfaktor berechnet. Dabei ist die TAN-Menge das Produkt aus der N-Ausscheidung und deren relativem TAN-Gehalt. Die NH_3-Emissionen aus dem Lager sind proportional zur TAN-Menge, die nach Abzug der N-Verluste aufgrund der NH3-Emissionen aus dem Stall verbleibt. Als Proportionalitätsfaktor dient der Lager-Emissionsfaktor. Für Kaninchen und Strauße liegen keine Daten zu TAN-Gehalt und Emissionsfaktoren vor; daher wurden die entsprechenden Default-Werte für Pferde und Gänse

aus EMEP/EEA (2019-3B-31) übernommen. Die schließlich verwendeten Daten sind in Tabelle 563 aufgelistet, wobei die Emissionsfaktoren in kg NH_3-N pro kg TAN angegeben sind. Für Gehegewild entfällt die Berechnung, da es sich ganzjährig im Freien aufhält.

Tabelle 563: Eingangsdaten zur Berechnung der NH_3-Emissionen (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH_3-N pro kg TAN

	TAN-Gehalt [%]	EF Stall [kg kg^{-1}]	EF Lager [kg kg^{-1}]	Bemerkung
Kaninchen	60	0,22	0,35	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019-3B-31)
Strauße	70	0,57	0,16	Default für Gänse, EMEP/EEA (2019-3B-31)
Pelztiere (Nerze)	60	0,27	0,09	Default, EMEP/EEA (2019-3B-31)

Die resultierende Deposition von reaktivem Stickstoff (N_{reac}) sowie die daraus folgenden indirekten N_2O-Emissionen sind in Tabelle 564 wiedergegeben, wobei nach IPCC (2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3)der Emissionsfaktor EF_4 = 0,01 kg N2O-N pro kg N_{reac} verwendet wurde.

Tabelle 564: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Lager

	N_{reac}[kt a^{-1}]	N_2O [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt	**0,2164**	**0,00340**	**1,01**
Kaninchen	0,0000	0,00000	0,00
Strauße	0,1043	0,00164	0,49
Pelztiere (Nerze)	0,0533	0,00084	0,25

19.3.1.6 Direkte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden

Infolge der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers von Kaninchen, Straußen und Pelztieren sowie des Freilandaufenthalts von Gehegewild entstehen direkte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden.

Die Emissionen durch Wirtschaftsdünger- Ausbringung werden berechnet, indem die jeweilige N-Menge, die nach N-Verlusten (als NH_3, N_2O, NO und N_2) aus Stall und Lager noch zur Verfügung steht, mit dem IPCC-Default-Emissionsfaktor EF_1 (0,01 kg N_2O-N pro kg N, IPCC (2006b Vol 4, 11.11, Table 11.1)) und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 multipliziert wird.

Die durch das Gehegewild verursachte N_2O-Emission ergibt sich, indem die Tierzahl mit der TAN-Ausscheidung, dem N_2O-N-Emissionsfaktor für Weidegang und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 multipliziert wird. Dabei ist die TAN-Menge das Produkt aus der N-Ausscheidung und deren relativem TAN-Gehalt. Letzterer ist nicht bekannt, weshalb der Wert für Schafe nach EMEP/EEA (2019-3B-31)- übernommen wird (50 %). Als Emissionsfaktor wird gemäß IPCC (2006b Vol 4, 11.11, Table 11.1) der $EF_{3PRP,SO}$ für Schafe und andere Tiere angewendet (0,01 kg N_2O-N pro kg N-Ausscheidung).

Tabelle 565 zeigt die N-Menge, deren Multiplikation mit dem jeweiligen Emissionsfaktor und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 zur ebenfalls angegebenen Emission führt.

Tabelle 565: Direkte N_2O-Emissionen aus Böden infolge Gehegewild-Freilandaufenthalt und Wirtschaftsdüngerausbringung bei Kaninchen, Straußen und Pelztieren.

	N [kt a^{-1}]	N_2O [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt	**4,765**	**0,0749**	**22,31**
Gehegewild	4,232	0,0665	19,82
Kaninchen	0,241	0,0038	1,13
Strauße	0,065	0,0010	0,31
Pelztiere (Nerze)	0,227	0,0036	1,06

19.3.1.7 Indirekte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden

Zur Berechnung der indirekten Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs werden die NH_3-N-Emissionen aus dem Gehegewild-Freilandaufenthalt und der Ausbringung von Wirtschaftsdünger sowie die entsprechenden NO-N-Emissionen benötigt.Tabelle 567 zeigt die verwendeten Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH_3-Emissionen.

Tabelle 566: Parameter zur Berechnung der indirekten N_2O-Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs infolge Freilandaufenthalt und Ausbringung (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH_3-N pro kg TAN)

	EF_{NH3-N} Freiland	EF_{NH3-N} Ausbringung	Bemerkung
Gehegewild	0,09		Default für Schafe, EMEP/EEA (2019-3B-31)
Kaninchen		0,90	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019-3B-31)
Strauße		0,45	Default für Gänse, EMEP/EEA (2019-3B-31)
Pelztiere (Nerze)		0,90	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019-3B-31)

Die NO-N-Emissionen aus dem Gehegewild-Freilandaufenthalt sowie aus der Wirtschaftsdünger-Ausbringung von Kaninchen, Straußen und Pelztieren werden analog zu Kapitel 5.3.4.2.2 mit dem von Stehfest and Bouwman (2006) abgeleiteten Emissionsfaktor 0,012 kg NO-N pro kg verfügbaren Stickstoffs berechnet.

Die resultierende Deposition von reaktivem Stickstoff (N_{reac}) sowie die daraus folgenden indirekten N_2O-Emissionen sind in Tabelle 567 wiedergegeben, wobei nach IPCC (2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3)der Emissionsfaktor EF_4 = 0,01 kg N_2O-N pro kg N_{reac} verwendet wurde.

Tabelle 567: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs (N_{reac}) aus NH_3- und NO-Emissionen aus Gehegewild-Freilandaufenthalt und Ausbringung

	N_{reac}[kt a^{-1}]	N_2O [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt	**0,456**	**0,0072**	**2,13**
Gehegewild	0,241	0,0038	1,13
Kaninchen	0,096	0,0015	0,45
Strauße	0,014	0,0002	0,07
Pelztiere (Nerze)	0,104	0,0016	0,49

Die indirekten Emissionen als Folge von Auswaschung/Oberflächenabfluss werden berechnet, indem die auf den Boden ausgebrachte N-Menge ($N_{applied}$) mit $FRAC_{Leach}$ (0,3 kg kg^{-1} nach IPCC (2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3)und dem Emissionsfaktor EF_5 = 0,0075 kg N_2O–N (kg N leaching/runoff)$^{-1}$ nach IPCC (2006b Vol 4, 11.24, Table 11.3)multipliziert wird.

Tabelle 568: Indirekte N_2O-Emissionen aus Böden infolge Auswaschung/Oberflächenabfluss

	$N_{applied}$ [kt a^{-1}]	N_2O [kt a^{-1}]	CO_{2eq} [kt a^{-1}]
insgesamt	**4,765**	**0,0168**	**5,02**
Gehegewild	4,232	0,0150	4,46
Kaninchen	0,241	0,0009	0,25
Strauße	0,065	0,0002	0,07
Pelztiere (Nerze)	0,227	0,0008	0,24

19.3.2 Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Weidegangdaten (CRF 3.B, 3.D)

Tabelle 569 bis Tabelle 572 zeigen (gerundet auf ganze Prozentwerte) die auf nationaler Ebene aggregierten Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Angaben zum Weidegang. Da Büffel zusammen mit den Rindern sowie Esel und Maultiere mit den Pferden berichtet werden (siehe Kapitel 5.1.3.2.2), sind sie in den nachstehenden Tabellen nicht gesondert aufgeführt.

Die Emissionsberechnungen wurden nicht mit den Daten aus Tabelle 569 bis Tabelle 572 durchgeführt, sondern mit den dahinter stehenden Daten in Bundesland-Auflösung, siehe Kap. 3.4.3 in Vos et al. (2022). Die Tabellen umfassen auch Angaben zu Emissionsfaktoren (u. a. auch für NH_3). Zu weiteren Details siehe Kap. 3.4.4, 4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 7.2.2, 8.2.2 und 8.3.8.3 in Vos et al. (2022).

Tabelle 569: Häufigkeitsverteilungen von Tierhaltungsverfahren(in %) sowie zugehörige Einstreumengen und NH_3-Emissionsfaktoren

livestock category	housing type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	bedding material (straw) kg place d^{-1}	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta
dairy cows	tied systems, straw based	31	31	31	31	15	15	15	15	13	13	13	12	12	12	11	11	10	10	10	9	9	8	8	7	7	6	5	5	4	4	3	5.0	0.066
	tied systems, slurry based	39	39	39	39	36	36	36	36	34	34	33	31	30	28	27	25	24	23	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	9		0.066
	loose housing, straw based	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	8	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5.0	0.197
	loose housing, slurry based	28	28	28	28	46	46	46	46	49	49	50	52	53	55	56	57	59	60	61	63	64	65	67	68	70	71	73	74	76	77	78		0.197
	loose housing, deep bedding	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	8.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	20	21	21	21	16	16	16	15	15	15	13	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7		
male beef cattle	tied systems, straw based	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	6	6	6	5	5	4	4	3	3	3	2.0	0.066
	tied systems, slurry based	7	7	7	7	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	4		0.066
	loose housing, slurry based	85	85	85	85	89	89	89	89	91	91	87	84	80	77	74	70	67	63	60	56	53	53	54	54	55	55	56	56	56	57	57		0.197
	loose housing, sloped floor	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	5	8	10	12	14	17	19	21	23	25	28	27	26	24	23	22	21	20	19	18	17	2.5	0.213
	Loose housing, deep bedding, straw based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	6	8	9	11	12	14	16	17	19	5.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	6	6	7	8	9	9	10	11		
female beef cattle	tied systems, straw based	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	10	9	9	8	7	7	6	6	5	2.0	0.066
	tied systems, slurry based	16	16	16	16	18	18	18	18	18	18	18	17	16	16	15	15	14	13	13	12	11	11	11	10	10	10	9	9	8	8	8		0.066
	loose housing, slurry based	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50	50	49	48	48	47	46	46	45	44	44	43	44	44	45	46	47	48	48	49	50	51		0.197
	loose housing, straw based	28	28	28	28	23	23	23	23	22	22	23	24	25	26	26	27	28	29	30	30	31	30	28	27	26	24	23	22	20	19	18	3.0	0.197
	Loose housing, deep bedding, straw based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	5	6	8	10	11	13	14	16	18	19	6.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	20	20	19	19	19	19	20	20	19	19	20	19	19	19	19	19	19	20	17	17	17	18	17	17	17	17	16	16	16	15	15		
dairy heifers	tied systems, straw based	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	7	7	6	5	5	4	2.0	0.066
	tied systems, slurry based	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	15	15	14	13	13	12	11	11	10	9	9	9	8	8	8	7	7	7	6	6		0.066
	loose housing, slurry based	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44	44	45	45	46	47	48	48	49	50	51	51		0.197
	loose housing, straw based	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27	28	28	29	30	31	31	32	33	33	32	31	29	28	26	25	23	22	20	19	3.0	0.197

livestock category	housing type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	bedding material (straw) kg place d^{-1}	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta
	Loose housing, deep bedding, straw based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	6.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	18	18	18	17	17		
calves	tied systems, straw based	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0.066
	loose housing, deep bedding	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	2.5	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
suckler cows	tied systems, straw based	10	10	10	10	8	8	8	8	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	11	12	12	12	11	11	10	9	9	8	8	7	7	5.0	0.066
	tied systems, slurry based	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3		0.066
	loose housing, slurry based	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		0.197
	Loose housing, straw based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	13	18	22	27	31	36	40	44	49	48	46	45	43	42	41	39	38	37	35	8.0	0.197
	loose housing, deep bedding	80	80	80	80	83	83	83	83	85	85	79	73	67	61	55	49	43	37	32	26	20	22	24	26	28	30	32	34	35	37	39	8.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	43	42	43	43	43	43	44	44	45	45	45	45	45	45	46	46	46	47	47	47	48	49	50	50	51	52	53	54	55	56	56		
mature males > 2 years	tied systems, straw based	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	12	12	11	10	10	9	8	7	7	6	5.0	0.066
	tied systems, slurry based	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4		0.066
	loose housing, slurry based	34	34	34	34	35	35	35	35	36	36	35	35	34	34	33	33	32	32	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		0.197
	loose housing, straw based	43	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	40	40	40	39	39	39	38	38	37	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	5.0	0.197
	Loose housing, deep bedding, straw based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	8.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	35	33	33	34	33	33	33	32	33	33	32	32	32	32	32	33	33	33	34	34	34	35	36	37	38	39	41	42	43	44	45		
fattening pigs	fully slatted floor, slurry	49	49	49	49	57	57	57	57	62	62	63	64	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81		0.3
	partly slatted floor, slurry	40	40	40	40	34	34	34	34	31	31	31	30	29	28	27	26	26	25	24	23	22	21	21	20	19	19	18	17	16	16	15		0.3
	plane floor with bedding	8	8	8	8	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	0.3	0.4
	deep bedding, closed insulated	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0	0.4
	Deep bedding, free ventilated	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1.0	0.35
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

livestock category	housing type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	bedding material (straw) kg place d^{-1}	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta
weaners	fully slatted floor, slurry	45	45	45	45	57	57	57	57	62	62	63	64	64	65	66	67	68	68	69	70	71	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80		0.3
	partly slatted floor, slurry	41	41	41	41	33	33	33	33	28	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	22	21	21	20	19	18	18	17	16	16		0.3
	plane floor with bedding	10	10	10	10	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	2	0.15	0.4
	deep bedding, closed insulated	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.4
	Deep bedding, free ventilated	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0.2	0.35
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
sows	straw based	42	42	42	42	26	26	26	26	24	24	23	22	22	21	20	19	18	17	16	15	14	14	13	12	12	11	10	10	9	8	8	0.5	0.34
	Slurry based	58	58	58	58	74	74	74	74	76	76	77	78	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	88	89	90	90	91	92	92		0.34
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
boars	straw based	32	32	32	32	23	23	23	23	21	21	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	15	15	14	13	12	11	10	9	9	8	0.5	0.34
	slurry based	68	68	68	68	77	77	77	77	79	79	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	85	85	86	87	88	89	90	91	91	92		0.34
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laying hens	cages; ≥2010: small group housing systems	95	95	95	95	95	94	92	90	89	88	87	85	84	81	77	73	70	68	62	38	18	14	13	11	11	10	10	9	9	7	6		*)
	floor management, aviary	4	4	4	4	4	5	5	7	7	7	7	7	7	9	12	14	15	17	22	45	63	64	64	64	64	64	63	65	62	62	62	0.5 kg per place and year	*)
	free range, organic farming	1	1	1	1	1	2	2	4	4	5	7	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	22	23	24	26	26	27	26	29	30	32	0.5 kg per place and year	*)
broilers	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.4 kg per place and year	0.09 kg per kg of total N excreted
pullets	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.75 kg per place and year	0.09 kg per kg of total N excreted
ducks	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	22 kg per place and year	0.16 kg per kg of total N excreted
geese	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		0.57
turkeys, female	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10.3 kg per place and year	0.222 kg per kg of total N excreted
turkeys, male	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10.3 kg per place and year	0.222 kg per kg of total N excreted
horses	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	8.0 / 5.0	0.22
	time spent on pastures (in % of year)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		

livestock category	housing type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	bedding material (straw) kg place d^{-1}	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta
sheep without lambs	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.4	0.22
	time spent on pastures (in % of year)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	56	55	55		
lambs	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.16	0.22
	time spent on pastures (in % of year)	57	57	58	58	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	55	55	55	55	55	55	55	55	55	56	55	55		
goats	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.4	0.22
	time spent on pastures (in % of year)	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		

*) s. Tabelle 572: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH_3-Emissionsfaktoren

Tabelle 570: Häufigkeitsverteilungen von Lagerverfahren (in %), Mengen an vergorenen Energiepflanzen sowie zugehörige Emissionsfaktoren

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH_4 MCF for storage % von Bo < 10 °C	maximum CH_4 producing capacity (Bo) m^3 CH4 per kg VS
cattle, untreated slurry	open tank (% of total untreated slurry)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	0.150	0.000	17.0	0.23
	solid cover (% of total untreated slurry)	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	29	28	27	26	25	25	24	23	22	21	0.015	0.005	17.0	0.23
	natural crust (% of total untreated slurry)	33	33	33	33	41	41	41	41	41	41	40	39	37	36	35	34	33	32	31	30	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	0.045	0.005	10.0	0.23
	plastic film (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	0.023	0.000	17.0	0.23
	artificial crust (chaff) (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0.030	0.000	17.0	0.23
	storage below	42	42	42	42	36	36	36	36	36	36	36	35	35	35	34	34	34	33	33	32	32	32	32	31	31	31	30	30	30	29	29	0.045	0.002	17.0	0.23

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH_4 MCF for storage % von Bo < 10 °C	maximum CH_4 producing capacity (Bo) m^3 CH4 per kg VS
	animal confinements > 1 month (% of total untreated slurry)																																					
cattle, digestion of slurry	% of total cattle slurry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	4	7	10	12	15	18	23	24	26	27	28	27	28	27	26	26						
cattle, digestion of solid manure	% of total solid manure of cattle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6						
cattle, storage of digestates	gas tight storage (% of slurry)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	63	63	0.000		0.000		2.683	0.23
cattle, storage of digestates	open tank (% of slurry)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	37	37	0.045		0.005		3.090	0.23
cattle, storage of digestates	gas tight storage (% of solid manure)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	63	63	0.000		0.000		1.198	0.23
cattle, storage of digestates	open tank (% of solid manure)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	37	37	0.045		0.005		1.611	0.23
dairy cows, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	97	94	91	88	85	82	79	75	71	67	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
Dairy cows, solid manure	Deep bedding (% of total solid manure)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	9	12	15	18	21	25	29	33	0.600		0.010		17.0	0.23
male beef cattle, solid manure	heap (% of total solid manure)	45	45	45	45	37	37	37	37	35	35	29	25	23	22	21	20	20	19	19	18	18	17	16	15	14	12	11	10	9	8	7	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	sloped floor (% of total solid manure)	53	53	53	53	57	57	57	57	58	58	65	68	70	71	72	73	73	73	74	74	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	0.600		0.010	0.005	17.0	0.23
	Deep bedding (% of total solid manure)	3	3	3	3	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	16	20	24	29	33	37	41	45	49	0.600		0.010		17.0	0.23
female beef cattle,	heap (% of total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	93	89	86	82	78	74	70	66	62	58	54	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH_4 MCF for storage % von Bo < 10 °C	maximum CH_4 producing capacity (Bo) m^3 CH4 per kg VS
solid manure	solid manure) Deep bedding (% of total solid manure)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	11	14	18	22	26	30	34	38	42	46	0.600		0.010		17.0	0.23
dairy heifers, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	98	97	96	95	95	94	94	93	93	89	86	82	78	74	70	67	63	58	54	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	Deep bedding (% of total solid manure)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	4	5	5	6	6	7	7	11	14	18	22	26	30	33	37	42	46	0.600		0.010		17.0	0.23
calves, solid manure	heap (% of total solid manure)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	deep bedding (% of total solid manure)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600		0.010		17.0	0.23
suckler cows, solid manure	heap (% of total solid manure)	11	11	11	11	9	9	9	9	8	8	14	19	25	31	37	43	49	55	62	69	76	73	71	68	66	64	61	59	56	54	51	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	deep bedding (% of total solid manure)	89	89	89	89	91	91	91	91	92	92	86	81	75	69	63	57	51	45	38	31	24	27	29	32	34	36	39	41	44	46	49	0.600		0.010		17.0	0.23
mature males, solid	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	94	92	90	88	86	84	83	81	79	76	73	70	67	64	61	58	55	53	50	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	Deep bedding (% of total solid manure)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	10	12	14	16	17	19	21	24	27	30	33	36	39	42	45	47	50	0.600		0.010		17.0	0.23

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH_4 MCF for storage % von Bo < 10 °C	maximum CH_4 producing capacity (Bo) m^3 CH4 per kg VS
pigs, untreated slurry	open tank (% of total untreated slurry)	47	47	47	47	27	27	27	27	27	27	25	23	22	20	18	17	15	13	12	10	8	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	0.150		0.000		25.0	0.30
	solid cover (% of total untreated slurry)	18	18	18	18	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21	20	20	20	19	19	19	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	0.015		0.005		25.0	0.30
	natural crust (% of total untreated slurry)	3	3	3	3	13	13	13	13	13	13	14	16	17	18	20	21	23	24	25	27	28	27	27	26	25	24	23	22	21	20	20	0.105		0.005		15.0	0.30
	plastic film (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10	0.023		0.000		25.0	0.30
	artificial crust (chaff) (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.030		0.000		25.0	0.30
	storage below animal confinements > 1 month (% of total untreated slurry)	32	32	32	32	31	31	31	31	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	38	38	0.105		0.002		25.0	0.30
pigs, digested slurry	% of total pig slurry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5	6	8	10	12	13	15	15	16	16	16	16	15	15						
pigs, storage of digestates	gas tight storage (% of digestates)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	63	63	0.000		0.000		3.475	0.30
pigs, storage of digestates	open tank (% of digestates)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	37	37	0.045		0.005		3.879	0.30
fattening pigs / weaners, solid manure	heap (% of total solid manure)	75	75	75	75	70	70	70	70	69	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73	74	73	72	71	70	68	67	65	64	62	60	0.600	0.030	0.005	0.005	3.0	0.30
	deep bedding (% of total solid manure)	25	25	25	25	30	30	30	30	31	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	27	26	27	28	29	30	32	33	35	36	38	40	0.600		0.010		25.0	0.30
sows / boars,	heap (% of total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600	0.030	0.005	0.005	3.0	0.30

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH_4 MCF for storage % von Bo < 10 °C	maximum CH_4 producing capacity (Bo) m^3 CH4 per kg VS
solid manure	solid manure)																																					
laying hens	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.140		0.001		1.5	0.39
broilers	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.170		0.001		1.5	0.36
pullets	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.170		0.001		1.5	0.39
ducks	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.240		0.001		1.5	0.36
geese	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.160		0.001		1.5	0.36
turkeys, female	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.240		0.001		1.5	0.36
turkeys, male	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.240		0.001		1.5	0.36
poultry, digested solid manure		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5	6	8	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14						
poultry, storage of digestates	gas tight storage (% of digestates)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	63	63	0.000		0.000		1.149	0,36/0,39 (see animal-specific values above)
poultry, storage of digestates	open tank (% of digestates)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	37	37	0.045		0.005		1.562	0,36/0,39 (see animal-specific values above)
horses	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.350		0.005		2.0	0.30
sheep	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.320		0.005		2.0	0.19
goats	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.280		0.005		2.0	0.18

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system	NH_3-N EF for storage, kg NH_3-N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system	N_2O EF for storage kg N_2O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH_4 MCF for storage % von Bo < 10 °C	maximum CH_4 producing capacity (Bo) m^3 CH4 per kg VS
digestion of energy crops	amount of energy crops digested (1000 kt fresh matter)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.12	0.20	0.25	0.57	0.65	1.0	1.5	2.1	2.5	3.3	8.9	12.4	16.9	19.7	25.3	31.8	39.7	43.5	52.6	55.1	57.2	56.9	55.9	55.1	55.1	55.1						
	gas tight storage (% of digestates)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	13	14	16	21	26	32	37	42	48	59	62	64	65	65	65	65	65	65		0.000		0.000		1.0	0.36
	open tank (% of digestates)	100	99	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	87	86	84	79	74	68	63	58	52	41	38	36	35	35	35	35	35	35		0.045		0.005		1.414	0.36

*) digestion of slurry, solid manure, poultry manure and energy crops: MCFs are overall values for the system “pre-storage (if existent) + digester + storage of digestates”

Tabelle 571: Häufigkeitsverteilungen von Ausbringungsverfahren (in %) sowie zugehörige Emissionsfaktoren

livestock category	application type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
cattle, untreated slurry	broadcast, without incorporation	11	11	11	11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50
	broadcast, incorporation < 1 h	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	9	11	11	10	10	10	10	0.10
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	11	17	14	11	7	6	6	5	4	3	0.26
	broadcast, incorporation < 6h	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35
	broadcast, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.40
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	20	20	20	20	22	22	20	18	16	14	12	11	9	7	5	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.43
	broadcast, incorporation < 24h	32	32	32	32	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6	5	4	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.46
	broadcast, incorporation < 48h	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	6	8	9	11	13	14	16	17	17	17	16	16	15	13	11	10	8	6	0.50

livestock category	application type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	broadcast, grassland	44	44	44	44	42	42	42	42	41	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	46	46	47	47	48	46	45	43	41	40	0.60
	trailing hose, without incorporation	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.46
	trailing hose, incorporation < 1 h	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0.04
	trailing hose, incorporation < 4h	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0.15
	trailing hose, incorporation < 6h	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
	trailing hose, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
	trailing hose, incorporation < 12h	0	0	0	0	9	9	9	9	9	9	8	7	6	6	5	4	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30
	trailing hose, incorporation < 24h	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39
	trailing hose, incorporation < 48h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.46
	trailing hose, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	5	0.35
	trailing hose, short vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.46
	trailing hose, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	0.54
	trailing shoe, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	4	4	0.04
	trailing shoe, incorporation < 4 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.15
	trailing shoe, incorporation < 8 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
	trailing shoe, incorporation < 12 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30
	trailing shoe, grassland	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5	8	11	13	16	19	0.36
	injection (open slot)	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	0.24
	grubber and injection	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	0.04
cattle, solid manure	broadcast, without incorporation	14	14	14	14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	5	5	5	5	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	15	15	15	0.09

livestock category	application type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	9	9	9	9	9	9	10	11	12	14	15	16	17	19	20	21	22	24	25	26	27	29	30	31	32	34	35	0.45
	broadcast, incorporation < 12h	11	11	11	11	28	28	28	28	29	29	29	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27	26	26	26	24	22	20	17	15	0.81
	broadcast, incorporation < 24h	43	43	43	43	24	24	24	24	25	25	23	22	20	19	17	16	14	12	11	9	8	6	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0.90
	broadcast, incorporation < 48h	7	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.90
	broadcast, vegetation/grassland	20	20	20	20	25	25	25	25	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	31	31	0.90
pigs, untreated slurry	broadcast, without incorporation	7	7	7	7	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	broadcast, incorporation < 1 h	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7	8	7	6	5	4	4	0.04
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	9	15	11	8	5	4	3	3	2	1	0.09
	broadcast, incorporation < 6h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
	broadcast, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	29	29	29	29	28	28	25	23	21	18	16	13	11	8	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
	broadcast, incorporation < 24h	50	50	50	50	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21
	broadcast, incorporation < 48h	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	broadcast, vegetation	30	30	30	30	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	21	20	19	16	13	10	7	4	0.25
	broadcast, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	0.30
	trailing hose, without incorporation	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18
	trailing hose, incorporation < 1 h	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	6	7	9	9	9	9	9	9	0.02
	trailing hose, incorporation < 4h	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	10	8	6	4	4	4	3	3	3	0.06
	trailing hose, incorporation < 6h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08

livestock category	application type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	trailing hose, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0925
	trailing hose, incorporation < 12h	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
	trailing hose, incorporation < 24h	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14
	trailing hose, incorporation < 48h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17
	trailing hose, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	8	11	14	17	20	22	25	28	31	31	31	32	34	35	36	37	37	38	38	0.125
	trailing hose, short vegetation	1	1	1	1	8	8	8	8	9	9	8	7	6	6	5	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.175
	trailing hose, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.21
	trailing shoe, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	3	4	5	0.02
	trailing shoe, incorporation < 4 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	0.06
	trailing shoe, incorporation < 8 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0925
	trailing shoe, incorporation < 12 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
	trailing shoe, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	8	10	13	16	19	0.12
	injection (open slot)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	4	0.06
	grubber and injection	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	0.02
pigs, solid manure	broadcast, without incorporation	36	36	36	36	29	29	29	29	31	31	30	28	26	24	22	20	18	17	15	13	11	9	7	6	4	2	2	3	4	4	5	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	4	4	4	4	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18	18	0.09
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	4	6	8	10	12	14	16	19	21	23	25	27	29	31	33	36	36	36	37	37	37	0.45
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	20	17	15	12	9	0.81
	broadcast, incorporation < 24h	53	53	53	53	33	33	33	33	31	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	12	10	8	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0.90
	broadcast, incorporation < 48h	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.90
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	9	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	26	28	29	31	0.90

livestock category	application type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
cattle and pigs, leachate	broadcast, without incorporation	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	45	41	36	32	27	23	18	14	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5	0.02
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	8	19	15	12	9	7	6	4	3	2	0.07
	broadcast, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.116
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.144
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	15	15	15	14	13	11	9	7	5	3	0.20
	broadcast, grassland	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49	49	49	49	48	48	48	48	47	47	47	47	48	48	49	41	32	23	15	6	0.20
	trailing hose, without incorporation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18
	trailing hose, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	4	6	7	8	0.01
	trailing hose, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4	3	3	2	2	3	3	3	3	0.05
	trailing hose, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09
	trailing hose, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
	trailing hose, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	6	7	9	11	12	14	15	17	0.10
	trailing hose, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	0.14
	trailing shoe, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	0.01
	trailing shoe, incorporation < 4 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0.05
	trailing shoe, incorporation < 8 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09
	trailing shoe, incorporation < 12 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
	trailing shoe, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	7	10	13	17	20	0.08
	injection (open slot)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	6	7	9	0.04
	grubber and injection	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	5	7	10	13	16	0.01

livestock category	application type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
laying hens, solid manure	broadcast, without incorporation	8	8	8	8	5	5	5	5	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15	16	16	17	18	19	19	20	22	24	26	27	29	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	5	7	8	9	11	12	14	15	16	18	19	20	22	23	24	26	27	28	0.00
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	46	44	42	40	38	0.18
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	11	11	11	11	21	21	21	20	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	12	12	11	10	9	8	7	5	4	0.40
	broadcast, incorporation < 24h	92	92	92	92	84	84	84	84	70	70	66	61	57	53	48	44	39	35	31	26	22	18	13	9	4	0	0	0	0	0	0	0.45
poultry, except laying hens, solid manure	broadcast, without incorporation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	25	27	29	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	26	28	29	0.00
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	12	15	18	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	47	45	43	41	39	0.18
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6	6	7	8	8	9	9	8	7	6	5	3	0.40
	broadcast, incorporation < 24h	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	88	81	75	69	63	56	50	44	38	31	25	19	13	6	0	0	0	0	0	0	0.45

Tabelle 572: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH_3-Emissionsfaktoren

[in kg NH_3-N per excreted kg N]	≤ 2000	2001 - 2009	≥2010
cage housing; as of 2010: small-group housing		0.164	0.066
floor management, aviary	0.351	linear interpolation	0.090
intensive outdoor management, free-range management, organic production		0.099	

19.4 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quell-/Senkenkategorie Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (4)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

19.5 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Abfall und Abwasser (6)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

20 Anhang 4: CO_2-Referenzverfahren und Vergleich mit dem Sektoransatz

Allgemeine Hinweise

Das in Kapitel 3.2.1.1 bereits kurz vorgestellte Referenzverfahren soll grundsätzlich für alle Berichtsstaaten anwendbar sein. Allein diese Abstraktion und Verallgemeinerung führt unausweichlich zu Diskrepanzen zum Sektoralen Ansatz.

Insgesamt erlaubt der Sektorale Ansatz wesentlich differenziertere und exaktere Berechnungen, deren Ergebnisse insbesondere auf Detaileben ggf. stark von denen des Referenzverfahrens abweichenden.

Die in den vergangenen Jahren begonnenen und mit dieser Submission fortgesetzten Arbeiten insbesondere zur Beseitigung von Fehlern bei der Überführung landesspezifischer Aktivitätsdaten in die Struktur des Referenzverfahrens haben auf maximal aggregierter Ebene eine sehr gute Übereinstimmung der mit beiden Berechnungsansätzen erzielten Ergebnisse zur Folge (siehe Kapitel 3.2.1.1). Auf *Brennstoffgruppen*-, vor allem aber auf *Brennstoff*-Ebene auch weiterhin bestehende Abweichungen lassen sich zumindest teilweise mit landesspezifischen Besonderheiten erklären, können bisher aber nicht zufriedenstellend beseitigt werden.

Das Referenzverfahren bietet damit auch in Zukunft Raum für weitere Verbesserungen. Neben der Prüfung und ggf. Revision insbesondere der für den nicht-energetischen Verbrauch genutzten Eingangsdaten und Rechenwege würde eine größtmögliche Flexibilisierung der Datenhaltung im CRF-Reporter die Vergleichbarkeit beider Ansätze weiter verbessern.

20.1 Vergleich der Ergebnisse des sektoralen und des Referenz-Ansatzes

Im Folgenden soll genauer auf die Ergebnisse der Gegenüberstellung der mit sektoralem und Referenzansatz berechneten CO_2-Emissionen eingegangen werden.

CRF-Berichtstabelle 1.A(c) enthält einen Vergleich des sektoralen Ansatzes mit den Ergebnissen des Referenzansatzes. Da der nicht-energetische Verbrauch (NEV) der betrachteten Brennstoffe an anderer Stelle erfolgt (Industrieprozesse und Produktanwendung), werden die laut Energiebilanzen darauf entfallenden Mengen vom Referenzansatz abgezogen. Dies betrifft neben Schmierstoffen, Bitumen und Rohbenzin auch Diesel, leichtes und schweres Heizöl, Flüssiggas, andere Mineralöle und Petrolkoks, Stein- und Braunkohlen, Koks und Erdgas.

Für das Jahr 2020 ergibt sich daraus ein nicht-energetischer Verbrauch von etwa 1060 Petajoule (siehe CRF-Tabelle 1.A(d), Summe aus Zellen D27, D38 und D42).

Für den separat ausgewiesenen Torf werden in 1.AA und 1.AB identische Emissionsfaktoren und Einsatzmengen verwendet. Daher weist Tabelle 1.A(c) hier keinerlei Abweichungen aus.

Die Ergebnisse des Vergleichs von sektoralem und Referenzansatz sind in den nachfolgenden Tabellen nochmals illustriert. Für das Jahr 2020 ergibt sich für den Referenzansatz ein um

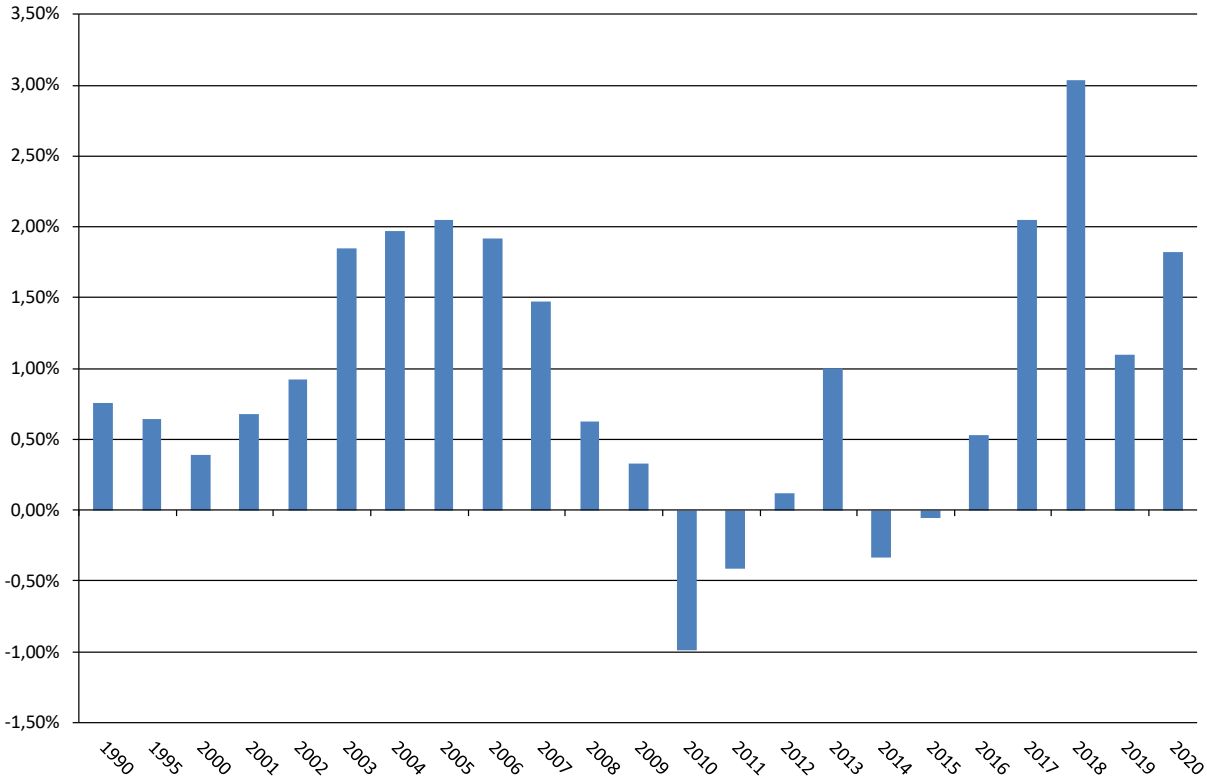
1,77 % höherer energetischer Brennstoffeinsatz bei um 2,64 % niedrigeren Referenz-Emissionen (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Betrachtet man den gesamten Zeitraum ab 1990, liegen die für das Referenzverfahren ausgewiesenen Brennstoffeinsätze (abzüglich der nicht-energetisch verwendeten Mengen) zumeist über denen des sektoralen Ansatzes. Ausnahmen bilden hier die Jahre 2010, 2011, 2014 und 2015.

Tabelle 573: Vergleich der mittels sektoralem und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten Energieeinsätze, in Terajoule

Jahr	1.AA	*1.AB (inkl. NEV)*	1.AB (exkl. NEV)	1.AB (exkl. NEV) minus 1.AA	
1990	11.673	12.917	11.761	88	0,76%
1995	10.926	12.114	10.996	70	0,64%
2000	10.553	11.841	10.594	41	0,39%
2001	10.835	12.092	10.908	74	0,68%
2002	10.614	11.895	10.711	98	0,92%
2003	10.607	12.000	10.803	196	1,85%
2004	10.416	11.824	10.621	205	1,97%
2005	10.204	11.686	10.413	209	2,05%
2006	10.340	11.769	10.538	199	1,92%
2007	9.926	11.235	10.072	146	1,47%
2008	10.094	11.294	10.158	63	0,63%
2009	9.448	10.525	9.479	31	0,33%
2010	9.898	10.955	9.800	-98	**-0,99%**
2011	9.505	10.608	9.466	-39	-0,41%
2012	9.562	10.661	9.574	11	0,12%
2013	9.793	10.978	9.891	98	1,00%
2014	9.239	10.325	9.208	-31	-0,34%
2015	9.316	10.395	9.310	-5	-0,06%
2016	9.510	10.663	9.560	50	0,53%
2017	9.301	10.647	9.491	190	2,04%
2018	8.996	10.229	9.270	273	**3,04%**
2019	8.603	9.758	8.698	94	1,10%
2020	7.871	9.074	8.010	139	1,77%

Abbildung 98: prozentuale Abweichungen der im Referenzverfahren erfassten jährlichen Gesamt-Aktivitätsraten von den Gesamtmengen gemäß sektoralem Ansatz

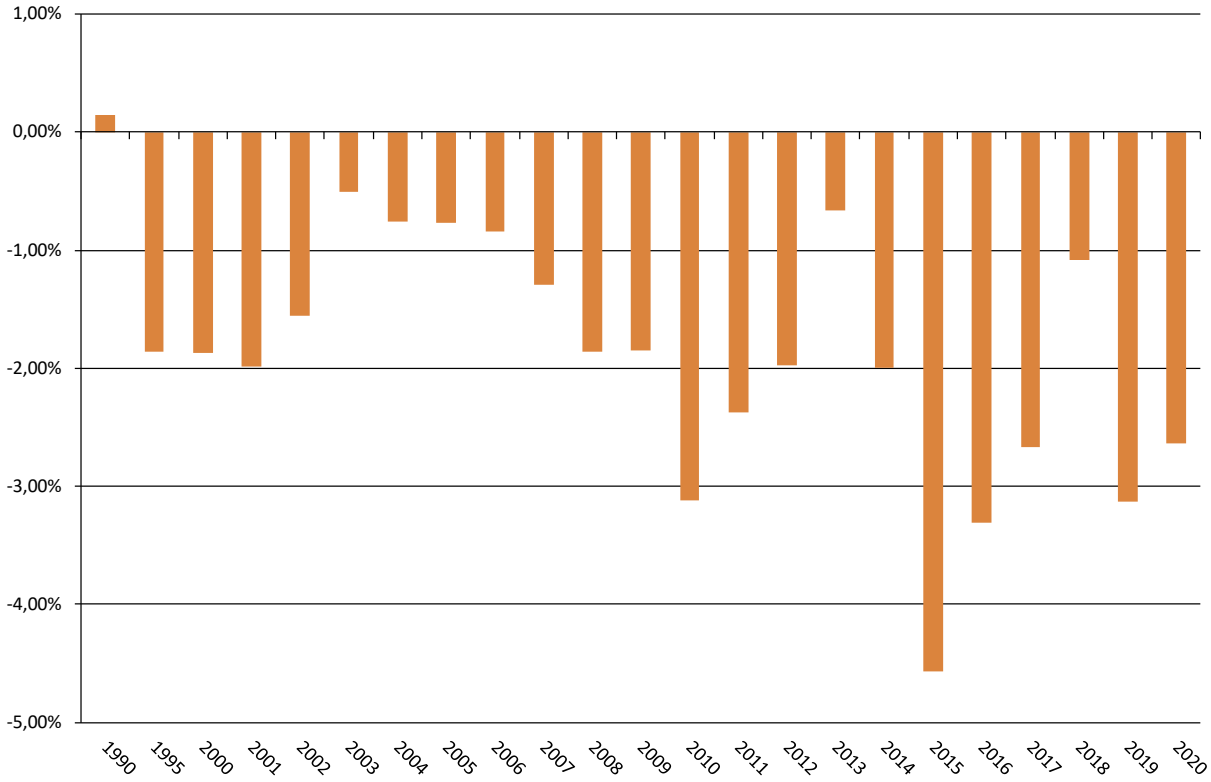


Hinsichtlich der im Referenzansatz berechneten Kohlendioxid-Emissionen ergibt sich ein umgekehrtes Bild: Diese fallen fast durchweg geringer aus, als mit dem sektoralen Ansatz berechnet. Die einzige Ausnahme stellt hier das Jahr 1990 dar (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Tabelle 574: Vergleich der mittels sektoralem und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten CO_2-Emissionen, in Kilotonnen

	1.AA	1.AB (exkl. NEV)	1.AB (exkl. NEV) minus 1.AA	
1990	985.253	986.690	1.437	0,15%
1995	877.638	861.349	-16.289	-1,86%
2000	836.208	820.600	-15.607	-1,87%
2001	858.980	841.966	-17.014	-1,98%
2002	844.301	831.160	-13.142	-1,56%
2003	841.061	836.841	-4.221	-0,50%
2004	827.085	820.793	-6.293	-0,76%
2005	808.723	802.509	-6.213	-0,77%
2006	819.850	812.953	-6.897	-0,84%
2007	794.600	784.351	-10.248	-1,29%
2008	800.218	785.308	-14.910	-1,86%
2009	744.232	730.512	-13.720	-1,84%
2010	781.485	757.149	-24.336	-3,11%
2011	757.628	739.642	-17.986	-2,37%
2012	763.103	748.026	-15.078	-1,98%
2013	780.791	775.608	-5.182	-0,66%
2014	741.946	727.174	-14.771	-1,99%
2015	746.783	712.664	-34.119	-4,57%
2016	749.812	724.989	-24.824	-3,31%
2017	731.410	711.915	-19.495	-2,67%
2018	702.521	694.896	-7.624	-1,09%
2019	657.691	637.101	-20.591	-3,13%
2020	593.070	577.426	-15.644	-2,64%

Abbildung 99: prozentuale Abweichungen der mit dem Referenzverfahren berechneten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen von den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes



21 Anhang 5: Überprüfung der Vollständigkeit und der potentiell nicht erfassten Quellen und Senken von Treibhausgasemissionen

Die folgenden zwei Tabellen enthalten die Quellen für Treibhausgase, die im Treibhausgasinventar von Deutschland noch nicht direkt berichtet werden. Dies bezieht sich auf Emissionen, für die die notwendigen Berechnungsgrundlagen nicht zur Verfügung stehen oder nur mit großem Aufwand ermittelt werden können. Diese müssen jedoch den mit der Definition des notation keys „NE“ vorgegebenen Kriterien der Vernachlässigbarkeit entsprechen. Die hierfür erforderlichen Schätzungwerte sind ebenfalls aufgelistet.

Weiterhin erfolgt eine Zusammenfassung der CRF-Tabelle 9(a), in der die an anderer Stelle im Inventar als „IE“ berichteten Emissionen.

Zusätzliche Informationen finden sich in Kapitel 1.8.

Tabelle 575: Vollständigkeit - Übersicht der Quellen und Senken, deren Emissionen nicht geschätzt (not estimated, NE) werden

Emissions 2020			
kt CO_2 equiv	**national total (without LULUCF)**	**728.738**	
kt CO_2 equiv	thereof 0,1 %	729	
kt CO_2 equiv	thereof 0,05 %	364	
Category code	**Category description**	**Assumption for estimated emission (in kt CO2 equiv)**	**Reference to NIR**
1.B.2.d	Geothermal Energy	< 1	see NIR 3.3.2.4
2.A.4.c	Non-metallurgical magnesium production	< 100	see NIR Chapter 4.2.4.3.2
2.B.4.a	Caprolactam	< 17,9	see NIR Chapter 4.3.4.2
2.B.6	Titan dioxid production	< 300	see NIR chapter 4.3.6
2.D.3	Asphalt - asphalt roofing	0,2	see NIR Chapter 4.5.4.2
2.D.3	Asphalt - road paving	2,5	see NIR Chapter 4.5.5.2
3.A.4	Deer	132	see NIR Chapter 19.3.1
3.A.4	Rabbits	3,96	see NIR Chapter 19.3.1
3.A.4	Fur-bearing animals	0,16	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Deer	1,45	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Fur-bearing animals	1,08	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Rabbits	0,88	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Ostrich	1,08	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).4	Fur-bearing animals	0,68	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).4	Rabbits	0,82	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).4	Ostrich	0,06	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).5	Indirect emissions	1,01	see NIR Chapter 19.3.1
3.D	Other animals	29,48	The entries for other animals are not shown in CRF Reporter under 3 D., see NIR Chapter 19.3.1
5.A	Flaring	0,51	see NIR Chapter 7.2.1.2.9
5.E.	accidental fires (buildings, cars ...)	< 100	see NIR Chapter 7.6
Sum		**695**	

Tabelle 576: Vollständigkeit – Übersicht der Quellen und Senken, die an anderer Stelle berichtet werden (included elsewhere, IE)

Aus Konsistenz- und Platzgründen wird diese Tabelle nur noch in Table 9 der CRF-Tabellen geführt.

22 Anhang 6: Zusatzinformationen als Bestandteil des NIR oder andere hilfreiche Referenzinformationen

22.1 Zusatzinformationen zur Inventarerstellung und zum Nationalen System

22.1.1 Festlegungen im Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung

Durch das Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung haben die Staatssekretäre vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB); Bundesministerium des Innern (BMI); Bundesministerium der Verteidigung (BMVg); Bundesministerium der Finanzen (BMF); Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die Zuständigkeiten für die Quell- und Senkengruppen sowie die notwendige Finanzierung für 2008 geregelt. Die Vereinbarung lautet:

BMUB, BMI, BMVg, BMF, BMWi, BMVBS, BMEL Berlin, den 05.06.2007

Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung

Die Staatssekretäre der betroffenen Ressorts stellen zum Thema „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung nach Art. 5(1) Kyoto-Protokoll einvernehmlich fest:

1. *Das Umweltbundesamt, Fachgebiet I 4.6[184] „Emissionssituation“ ist die zuständige Nationale Koordinierungsstelle („single national entity“) für die Berichterstattung nach VN-Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll. Die Nationale Koordinierungsstelle ist dafür zuständig, das nationale Inventar zu erstellen, auf eine ständige Verbesserung des Inventars hinzuwirken, die am nationalen System Beteiligten zu unterstützen und die Entscheidungen des Koordinierungsausschusses vorzubereiten.*

2. *Für alle zu klärenden Fragen im Rahmen des Nationalen Systems sowie zur offiziellen Erörterung und Freigabe der Inventare und der nach den Artikeln 5, 7 und 8 des Kyoto-Protokolls notwendigen Berichte wird ein Koordinierungsausschuss aller betroffenen Ressorts eingerichtet, der den Prozess begleitet und insbesondere Zweifelsfragen, z.B. bei der Festlegung einzelner Emissionsfaktoren, klärt.*

   Insbesondere legt der Ausschuss die Hauptquell- und -senkengruppen, die Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung der Datenerhebung und -verarbeitung sowie den jährlichen Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungsplan fest.

   Soweit erforderlich kann der Ausschuss die Methoden zur Berechnung der Emissionen in den Kategorien und zur Berechnung des Abbaus in den Senkengruppen festlegen. Die Federführung hat BMU. Ausschusssitzungen finden statt, wenn mindestens ein Ressort die Notwendigkeit hierfür sieht. Nachgeordnete Behörden und weitere an der Erstellung der Inventare beteiligte Institutionen können nach Bedarf zu Sitzungen hinzugezogen werden.

3. *Für die Erstellung des nationalen Inventars werden Daten zur Berechnung der Emissionen und des Abbaus verwendet, die nach Maßgabe der Anforderungen des Art. 3 Abs. 1 der Entscheidung 280/2004/EG und des Art. 2 Abs. 1 der Durchführungsbestimmungen zur Berechnung der Emissionen in den Quell- und des Abbaus in den Senkengruppen erforderlich sind. Die Erstellung des Inventars erfolgt jährlich. Dabei ist die Durchführung einer Qualitätskontrolle nach den Anforderungen des Art.*

[184] Anm. des Autors: aktuell I 2.6.

12 der Durchführungsbestimmungen sicherzustellen. Ebenso ist eine nachweisbare Dokumentation und Archivierung erforderlich.

Bestehende Datenflüsse, etwa auf der Grundlage freiwilliger Vereinbarungen oder gesetzlicher Vorschriften sollen nicht grundlegend geändert, sondern nur ggf. vervollständigt und verbessert werden, um eine verlässliche Datengrundlage zu schaffen. Daher ist mit der Zuständigkeit nicht zwingend die Erhebung und Weitergabe von Daten verbunden. Für die Aufgabenverteilung zwischen BMU/UBA, BMVBS und BMWI wird insbesondere auf Anlage 1 verwiesen.

Die Zuständigkeiten für die Sicherstellung der Datenlieferung an die Nationale Koordinierungsstelle sowie die Qualitätskontrolle, Dokumentation und Archivierung der Daten verteilen sich wie folgt auf die Ressorts:

a) Für die Kategorie 1 (Energie) ist - mit Ausnahme der Kategorien 1.A.3 (Verkehr) und 1.A.5a (Energie: Sonstige), soweit Emittenten der Bundeswehr betroffen sind, - das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zuständig.

b) Für die Kategorien 2 (Produktionsprozesse) und 3 (Verwendung von Lösemitteln und anderen Erzeugnissen) ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zuständig.

c) für die Kategorie 1.A.3 (Verkehr) ist das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zuständig.

d) Für die Kategorie 1.A.5a (Energie: Sonstige) ist, soweit Emittenten der Bundeswehr betroffen sind, das Bundesministerium für Verteidigung zuständig. Soweit Daten der Geheimhaltung unterliegen, werden vom Umweltbundesamt die Erfordernisse der Geheimhaltung berücksichtigt.

e) Für die Quell- und Senkengruppen 4 (Landwirtschaft) und 5 (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, ist das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zuständig.

f) Für die Kategorie 6 (Abfall) und Kategorie 7 sowie die Treibhausgas-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse, ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zuständig.

g) Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ist auch für die Erstellung der Tabellen im einheitlichen Berichtsformat nach Art. 2 Abs. 2 Buchstabe a der der Entscheidung 2005/166/EG (Durchführungsbestimmungen) in den Quell- und Senkengruppen 4 und 5.

Grundsätzlich sind für Durchführungsaufgaben der amtlichen Statistik einschließlich Datenlieferung, Qualitätskontrolle, Dokumentation und Archivierung der Daten die nach den einschlägigen Statistikvorschriften bestimmten Behörden zuständig. Die Zusammenarbeit der statistischen Ämter des Bundes und der Länder mit den mit der Berichterstattung befassten Stellen erfolgt durch das Statistische Bundesamt. Dabei ist die statistische Geheimhaltung sicher zu stellen.

4. *Die zuständigen Ressorts klären kurzfristig, wie die anforderungsgerechte Bereitstellung der Daten dauerhaft sichergestellt wird, soweit dies nicht schon der Fall ist. Insbesondere betrifft dies Vereinbarungen, Verordnungen oder Gesetze, die zur Institutionalisierung des Nationalen Systems erforderlich werden. Freiwillige Vereinbarungen mit Verbänden und/oder Einzelunternehmen stehen gesetzlichen Vorschriften für die Zwecke der Emissionsberichterstattung grundsätzlich gleich. Umweltbundesamt und Statistisches Bundesamt prüfen, wie im Abstimmungsgespräch am 12.09.2006 vereinbart, darüber hinaus, welche Daten aus dem amtlichen statistischen System für die Berichterstattung bereit gestellt werden können oder nach ihrer Auffassung zusätzlich über das amtliche statistische System erhoben werden sollen. Die Ressorts, UBA und Statistisches Bundesamtübermitteln ihre entsprechenden Vorschläge bis zum 15.07.2007 an das BMU.*

5. *Bis zum 31.07.2007 wird BMU die beteiligten Ressorts zur Abstimmung der Vorschläge und Festlegung eines Fahrplans zur Implementierung der notwendigen Instrumente einladen. Die zuständigen Ressorts bzw. die Bundesregierung werden die Etablierung der erforderlichen Instrumente schnellstmöglich veranlassen.*

6. *Soweit für die Wahrnehmung der unter 3. genannten Zuständigkeiten zusätzliche Mittel erforderlich sind, werden diese aus den Einnahmen des Verkaufs von AAUs finanziert, in Erweiterung der Vereinbarung der Staatssekretäre vom 22.12.2006 zu Artikel 3.4 Kyoto-Protokoll.*

   Hierzu wird bereits für das Haushaltsjahr 2008 ein Einnahmetitel im Einzelplan 16 eingerichtet. Die zu finanzierenden Mehrbedarfe werden nach Prüfung durch BMF als Ausgaben in den Einzelplänen der Ressorts ausgewiesen. Die Nachmeldungen der Ressorts hierzu müssen bis zum 6.6.2007 gegenüber BMF erfolgen.

   Sollten über den in im Haushalt 2008 festgestellten Mehrbedarf hinaus in den kommenden Jahren zusätzliche Haushaltsmittel erforderlich sein, werden in den darauf folgenden Jahren im entsprechenden Umfang zusätzliche AAUs veräußert.

[…]

Anlage: Aufgabenverteilung zwischen BMU/UBA, BMVBS und BMWI

Zwischen BMU, BMVBS und BMWi besteht Einigkeit, dass die bisherigen Strukturen der Emissionsberichterstattung beibehalten werden sollen und UBA auch weiterhin seine bisherigen Aufgaben in den Kategorien 1, 1.A.3, 2 und 3 ausübt. BMVBS und BMWi stellen sicher, dass etwaige Datenlücken in den Quellgruppen, für die sie zuständig sind, geschlossen werden.

Im Einzelnen:

BMWi:

Zur Kategorie 1: Die Inventare in diesem Bereich werden im UBA u.a. auf Basis der Energiedaten, die der vom BMWi mit der Erstellung der Energiebilanzen beauftragte Auftragnehmer übermittelt hat, sowie auf Basis weiterer Statistiken und Verbandsangaben, erstellt.

Zur Kategorie 2: Die Inventare in diesem Bereich werden im UBA auf Basis von Daten erstellt, die u.a. aus der Statistik im Produzierenden Gewerbe (ProdGewStatG) sowie aus Mitteilungen von Verbänden/Einzelunternehmen stammen.

Zur Kategorie 3: Die Inventare in diesem Bereich werden im UBA auf Basis von Daten erstellt, die u.a. aus der Statistik im Produzierenden Gewerbe (ProdGewStatG), aus der Außenhandelsstatistik sowie aus Mitteilungen von Verbänden/Einzelunternehmen stammen.

Die bestehenden Optimierungsnotwendigkeiten werden zwischen BMWi, BMU und UBA kurzfristig geklärt. Soweit Datenoptimierungen durch Änderung bestehender Erhebungen auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes (UStatG) oder der 13. BImSchV erforderlich sein sollten, ist das BMU zuständig. Das UBA übernimmt die Dokumentation und Archivierung der im UBA eingehenden Daten.

BMVBS:

Zur Kategorie 1.A.3 (Verkehr) werden Emissionen bei UBA über das TREMOD-Modell berechnet. Für die Schließung von Lücken und für die Emissionen des internationalen Luftverkehrs stellt das BMVBS, soweit notwendig, Daten/Berechnungen zur Verfügung bzw. stellt sicher, dass diese durch Dritte zur Verfügung gestellt werden. Die Emissionen des Schiffsverkehrs können derzeit aus Daten der Energiebilanz und Default-Emissionsfaktoren berechnet werden. Das UBA übernimmt die Dokumentation und Archivierung der im UBA eingehenden Daten.

22.1.2 Zusatzinformationen zum Qualitätssystem Emission

22.1.2.1 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung

Wie bereits im Hauptteil beschrieben werden die Anforderungen an das System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS-System) und an die Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung im Wesentlichen durch das Kapitel 8 der *IPCC Good Practice Guidance* definiert.

Aus diesen wurden von UBA „Allgemeine Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung“ abgeleitet (Stand November 2007), die im Folgenden wiedergegeben werden.

22.1.2.1.1 Einführung

Die Vertreter der beteiligten Ressorts im Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare legen die in diesem Dokument beschriebenen allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung fest. Sie werden damit Grundlage für die Erhebung, Verarbeitung, Weitergabe und Berichterstattung von allen Daten, die der THG-Berichterstattung dienen.

Diese QK/QS Mindestanforderungen müssen auf allen Ebenen der Inventarerstellung eingehalten werden. In vielen Fällen kann dabei auf existierenden Prozessen und Systemen aufgebaut werden, z. B. den Qualitätsstandards der öffentlichen Statistik. Im Anhang 1 dieses Dokuments ist exemplarisch die Umsetzung der QK/QS Mindestanforderungen und das QK/QS System im Umweltbundesamt dargestellt. Eine entsprechende Beschreibung zur Umsetzung dieser Mindestanforderungen ist von allen beteiligten Institutionen vorzunehmen, so dass sie im Rahmen der Berichterstattung 2009 mit dem Inventarbericht veröffentlicht werden kann. Auf Anfrage unterstützt das Umweltbundesamt die Ministerien bei der Erstellung der QK/QS Systeme in den jeweiligen Zuständigkeitsbereichen.

22.1.2.1.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung

Die *Durchführungsbestimmungen 2005/166/EG zur Entscheidung 280/2004/EG* verlangen, dass das nationale Treibhausgasinventar den QK/QS Anforderungen der *IPCC good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories* (IPCC good practice guidance) und der *IPCC good practice guidance for land use, land-use change and forestry* (IPCC Good Practice Guidance for LULUCF) entspricht.

Um die Verbesserung der Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit der nationalen Emissionsinventare und insbesondere die Erfüllung der Anforderungen an die „Gute Inventarpraxis“ zu gewährleisten, fordern die *IPCC Good Practice Guidance* die Einführung eines Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungssystems. Ein QK/QS System umfasst:

- eine zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten
- die Entwicklung und Umsetzung eines QK/QS-Plans
- allgemeine QK Verfahren
- kategoriespezifische QK Verfahren
- QS Verfahren und
- Verfahren für die Berichterstattung,
- Verfahren für die Dokumentation und Archivierung

QK/QS Maßnahmen können im Konflikt zu Anforderungen an Pünktlichkeit und Kosteneffizienz stehen. Bei der Entwicklung eines QK/QS Systems sollen deshalb die vorhandenen zeitlichen,

personellen und materiellen Ressourcen berücksichtigt werden. Es ist gute Praxis, höhere Anforderungen an die Datenqualität der Hauptkategorien zu stellen. Für andere Kategorien ist es nicht notwendig, alle kategoriespezifischen QK Verfahren umzusetzen. Des Weiteren sind nicht alle Maßnahmen jährlich notwendig, z.B. muss die Methodik zur Erhebung von Daten nur einmalig detailliert überprüft werden. Danach reichen periodische Kontrollen, ob die Voraussetzungen für die Anwendung der Methodik weiterhin gegeben sind. Ein weiteres Kriterium für die Anforderungen an die QK/QS Maßnahmen ist die Unsicherheit einer Angabe. Um die gesamte Unsicherheit des Inventars zu reduzieren, sollten diejenigen Kategorien detailliert überprüft werden, die eine hohe Unsicherheit aufweisen.

22.1.2.1.3 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten

Das Umweltbundesamt als Nationale Koordinierungsstelle ist zuständig für das QK/QS System des nationalen Treibhausgasinventars und hat dafür die Stelle des Koordinators für das Qualitätssystem Emissionen (QSE) eingerichtet. Es ist gute Praxis, dass alle an der Inventarerstellung beteiligten Unternehmen und Organisationen einen QK/QS Koordinator ernennen und dem QSE Koordinator mitteilen.

Der QK/QS Koordinator ist verantwortlich dafür, dass ein QK/QS System entwickelt und umgesetzt wird. Die Umsetzung sollte in geeigneter Weise institutionalisiert werden, z.B. durch eine Hausanweisung oder Verbändevereinbarung.

Damit die nationale Koordinierungsstelle ihre unterstützenden Aufgaben zielgerichtet wahrnehmen kann, sind dem QSE Koordinator für die Wahrnehmung der folgenden weiteren Funktionen namentlich Personen zu benennen:

Fachverantwortlicher – Zuständige Person für die Datengewinnung, Dateneingabe, Berechnung entsprechend den vorgegebenen Methoden, für die Durchführung von QK-Maßnahmen und die Erstellung des Textbeitrags für den Nationalen Inventarbericht.

Qualitätskontrollverantwortlicher - Zuständige Person für die Prüfung und Freigabe der Daten und Berichtsteile (Funktion kann vom QK/QS Koordinator mit wahrgenommen werden).

22.1.2.1.4 QK/QS Plan

Der QK/QS Plan soll die Organisation und Durchführung von QK/QS Maßnahmen sicherstellen. Er enthält eine Darstellung über alle durchzuführenden QK/QS Maßnahmen sowie den Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen. Der QK/QS Plan legt die Schwerpunkte der durchzuführenden Maßnahmen fest. Kriterien für die Auswahl der Quellgruppen, die detailliert geprüft werden, sind u.a.:

- die Relevanz der Kategorie (Hauptkategorie ja/nein, Unsicherheiten hoch/gering)
- der Zeitpunkt und die Ergebnisse der letzten detaillierten QK/QS Maßnahme für die Quellgruppe
- Änderungen der Methodik oder der Datengrundlage
- Ergebnisse der jährlichen Inventarüberprüfung unter der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto Protokoll
- vorhandene Ressourcen zur Durchführung der QK/QS Maßnahmen

Es ist gute Praxis, einen QK/QS Plan anzulegen und jährlich nach Ende der Inventarerstellung zu überprüfen und zu aktualisieren.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der jährlichen Inventarüberprüfung und der Ergebnisse aus den ihr bekannten QK/QS-Maßnahmen erstellt die nationale Koordinierungsstelle für das gesamte Inventar einen Verbesserungsplan. Auf dieser Grundlage leitet sie Vorschläge für einen verbindlichen Inventar-Plan für das nächste Berichtsjahr ab, der dem Koordinierungsausschuss

als Beschlussvorlage vorgelegt wird. Der QK/QS Koordinator legt gemeinsam mit dem QSE Koordinator in der Nationalen Koordinierungsstelle Verfahren und Termine fest, wie und in welchem Umfang die QK/QS-Maßnahmen der Institution in den Inventar-Plan für das Gesamtinventar Eingang finden.

22.1.2.1.5 Allgemeine Qualitätskontrolle

Nach der Definition der IPCC (Kapitel 8.1 *Good Practice Guidance*) ist die Qualitätskontrolle (QK) ein System routinemäßiger fachlicher Maßnahmen zur Messung und Kontrolle der Qualität des in Erarbeitung befindlichen Inventars.

Hierfür soll das QK-System:

- Routinemäßige und einheitliche Überprüfungen ermöglichen, um für die Integrität, Korrektheit und Vollständigkeit der Daten Sorge zu tragen;
- Fehler und Auslassungen ermitteln und beheben;
- Inventarmaterial dokumentieren und archivieren sowie alle QK-Aktivitäten aufzeichnen.

In Tabelle 8.1 der *IPCC Good Practice Guidance* ist eine vollständige Liste der allgemeinen QK-Maßnahmen dargestellt. Anforderungen an die allgemeinen QK-Verfahren nach Tier 1 lassen sich aus den in Kapitel 8.6 der *IPCC Good Practice Guidance* benannten ableiten. Typische allgemeine Qualitätskontrollmaßnahmen bei der Ermittlung der Aktivitätsrate sind die Überprüfung der Daten auf Übertragungsfehler, Überprüfung auf Vollständigkeit, Überprüfung der Formeln zur Zusammenfassung der Daten sowie Plausibilitätsprüfungen anhand von externen Datenquellen und früheren Berechnungen. Lieferanten von Emissionsberechnungen müssen zusätzliche QK-Maßnahmen durchführen, z.B. die Überprüfung der Formeln zur Berechnung der Emissionen.

Die notwendigen Qualitätskontrollen sollen in Form von Checklisten dokumentiert werden. Die Listen sollen mindestens die durchgeführte Maßnahme, das Ergebnis der Kontrolle, die ggf. umgesetzte Korrektur und den Bearbeiter enthalten. Im Anhang 2 dieses Dokuments ist exemplarisch eine Checkliste im Umweltbundesamt dargestellt.

Nicht alle Qualitätskontrollen müssen jährlich durchgeführt werden, sondern können auch periodisch umgesetzt werden. Dies gilt insbesondere für Aspekte der Datenerhebung, die sich nicht jährlich ändern. Für Hauptkategorien werden höhere Anforderungen an die Häufigkeit und Vollständigkeit der QK-Maßnahmen als für andere Kategorien gestellt. Es ist darauf zu achten, dass alle Kategorien zumindest periodisch einer detaillierten Qualitätskontrolle unterliegen.

22.1.2.1.6 Quellgruppenspezifische Qualitätskontrolle

Ergänzend zu den Tier 1 Verfahren sollten die besonders relevanten Kategorien (z.B. Hauptkategorien), immer unter Abwägung von Ressourcenaspekten, bei der Ermittlung von Aktivitätsraten, Emissionen und Unsicherheiten einer Qualitätskontrolle nach Tier 2 unterzogen werden (siehe Kapitel 8.7 *Good Practice Guidance*). Die Kapitel der *IPCC Good Practice Guidance* zu den einzelnen Kategorien (Kapitel 1-5) enthalten zusätzliche Hinweise zu kategoriespezifischen QK-Maßnahmen. Diese müssen bei der Erstellung des QK/QS Plans berücksichtigt werden. :

Werden zusammengefasste **Aktivitätsraten** aus Sekundärquellen verwendet, ist es gute Praxis, die QK Maßnahmen bei der Erstellung der Sekundärquellen zu evaluieren. Ist das Niveau dieser Maßnahmen ausreichend, reicht es darauf in der Dokumentation zu verweisen. Falls die Sekundärquellen den Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle nicht genügen, sollen QK/QS Kontrollen von der Institution durchgeführt werden, die die Daten verwendet. Die Ergebnisse der nachträglichen QK/QS Kontrollen sollen in die Bestimmung der Unsicherheiten

der Aktivitätsraten einfließen. Des Weiteren sollen, soweit möglich, verschiedene Quellen verglichen werden, um die Güte der Daten zu ermitteln.

Bei der Verwendung von anlagenspezifischen Aktivitätsdaten ist es gute Praxis, die Methodik und den QK/QS Standard bei der Datenermittlung zu überprüfen. Sollten diese nicht den Mindestanforderungen genügen, soll die Verwendung der Daten grundsätzlich überdacht und ggf. die Unsicherheitsangaben angepasst werden.

Bei **Emissionsdaten** gehört es zur guten Praxis, die verwendeten Emissionsfaktoren zu überprüfen. Dazu gehört die Verwendung von nationalen Emissionsfaktoren für Hauptkategorien und die Überprüfung der Gültigkeit der IPCC Standardfaktoren unter nationalen Gegebenheiten. Werden Emissionen durch direkte Messung ermittelt ist es gute Praxis, die Messmethoden und verwendeten Qualitätsstandards zu überprüfen. Emissionsdaten und Emissionsfaktoren sollen mit Daten der Vorjahre sowie unabhängigen Quellen überprüft und Abweichungen erklärt werden.

Die **Qualitätskontrolle** der Unsicherheiten umfasst die Überprüfung, ob die Berechnung frei von Fehlern ist und die Dokumentation zur Reproduktion der Ergebnisse ausreichend ist. Bei der Verwendung von Expertenschätzungen soll die Qualifikation der Experten und die Methodik zur Schätzung überprüft und dokumentiert werden.

22.1.2.1.7 Verfahren zur Qualitätssicherung

Während das Ziel der Qualitätskontrolle hauptsächlich die korrekte Anwendung einer Methodik ist, soll bei der Qualitätssicherung die Methodik als solche untersucht und ggf. verbessert werden.

Nach der Definition der IPCC (Kapitel 8.1 *Good Practice Guidance*) beruhen die Maßnahmen der **Qualitätssicherung** (QS) *„auf einem planvollen System von Überprüfungen durch Personen, die nicht unmittelbar an der Erarbeitung des Inventars mitwirkten. Solche Überprüfungen – am besten durch unabhängige Dritte – sollten an einem fertig gestellten Inventar nach Realisierung von QK-Prozeduren erfolgen. Durch sie wird:*

- verifiziert, dass die Kriterien der Datenqualität erfüllt wurden,
- dafür Sorge getragen, dass das Inventar die bestmöglichen Schätzungen von Emissionen und Senken auf der Grundlage des neuesten Standes der Wissenschaft und der verfügbaren Daten berücksichtigt, und
- die Effizienz des QK-Systems gefördert“.

Das geforderte Instrument der Qualitätssicherung sind Peer Reviews. Die Durchführung von Audits wird angeregt, stellt aber keine verbindliche Anforderung dar.

22.1.2.1.8 Verfahren zur Berichterstattung

Die Einleitung, Koordinierung und Gesamtorganisation der Berichterstattung erfolgt durch die Nationale Koordinierungsstelle. Zuarbeiten von Datenteilen oder Berichten durch Dritte erfolgen unter Beachtung der Vereinbarungen über Umfang Form und Zeitpunkt dieser Zuarbeit.

22.1.2.1.9 Dokumentation und Archivierung

Es besteht die generelle Pflicht alle Daten und Informationen zur Inventarberechnung für jedes Berichtsjahr zu dokumentieren und zu archivieren. Die Dokumentation soll es ermöglichen, die Emissionsberechnung vollständig nachzuvollziehen. Die allgemeinen Anforderungen an die Dokumentation und Archivierung für den gesamten Prozess der Erstellung von Treibhausgasinventaren ergeben sich aus Kapitel 8.10.1 der *IPCC Good Practice Guidance*.

Die Datenlieferanten haben die Pflicht, die folgenden Informationen zu den an das UBA gelieferten Daten für die Inventarberechnungen zu dokumentieren:

Lieferanten von Daten:

- Veröffentlichung / Quelle der Aktivitätsdaten mit detailliertem Verweis auf entsprechende Tabellennummern und -bezeichnungen und Seiten der Originalquellen;
- Erhebungsinhalte (Definitionen der erhobenen Merkmale, Abschneidegrenzen, Erhebungseinheiten) und Erhebungsmethodik;
- Rechtsgrundlagen, Verordnungen, auf denen die Erhebung basiert;
- Zeitliche und räumliche Vergleichbarkeit zu Vorjahresdaten, Veränderungen hinsichtlich Definitionen, Geltungsbereichen, Abschneidegrenzen, Quellen von Aktivitätsraten oder der Methodik der Datengewinnung;
- Revisionen von bereits veröffentlichen Daten;
- Genauigkeit bzw. quantitative Fehlerangabe der Aktivitätsdaten, Methodik der Fehlerschätzung und Benennung der Experten, welche die Fehlerschätzung vorgenommen haben.
- Geheimhaltung und Datenschutz: Dokumentation falls Einzelangaben als geheim gelten.

Diese Dokumentation soll dem UBA jährlich zusammen mit den Daten zur Verfügung gestellt werden und wird vom UBA zentral archiviert.

Qualitätskontrolle

Im Rahmen der Qualitätskontrolle soll die Dokumentation zuständige und durchführende Mitarbeiter, Art, Datum und Ergebnisse der Qualitätskontrollen sowie Korrekturen und Modifikationen, die durch die Qualitätskontrollen ausgelöst wurden, erfassen. Die Dokumentation und Archivierung der Qualitätskontrollen erfolgt intern durch die Daten liefernde Einrichtung. Eine allgemeine Beschreibung der regelmäßig durchgeführten Qualitätskontrollen wird dem UBA für den nationale Inventarbericht und die Inventarüberprüfung zur Verfügung gestellt.

Lieferanten von Emissionsberechnungen

Für Lieferanten von Emissionsberechnungen umfassen die Mindestanforderungen zur Dokumentation zusätzlich die folgenden Bestandteile:

- Beschreibung der Berechnungsmethodik und Begründung der Wahl der Methode;
- Annahmen und Kriterien zu Auswahl von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren;
- Dokumentation der Emissionsfaktoren und deren Quellen mit detaillierten Verweis auf entsprechende Nummern und Seiten der Originalquellen;
- Berechnungsmodelle;
- Berechnungsdateien, Berechnungssoftware.

Punkte 1-4 werden im Rahmen der gelieferten Beschreibungen für den nationalen Inventarbericht dokumentiert und archiviert. Für Berechnungsmodelle ist eine gesonderte Dokumentation der Modelle entsprechend allgemeiner wissenschaftlichen Praxis erforderlich sowie eine interne Dokumentation in Form von Handbüchern oder Anleitungen. Die Dokumentation und Archivierung der Berechnungsdateien oder Berechnungssoftware erfolgt intern beim Datenlieferanten. Diese sollen dem UBA zur Verfügung gestellt werden, falls dies im Rahmen der Inventarüberprüfung gefordert wird.

Qualitätssicherung

Lieferanten von Emissionsberechnungen sind neben Maßnahmen zur Qualitätskontrolle auch zur Qualitätssicherung verpflichtet. Im Rahmen der Qualitätssicherung soll die Dokumentation die zuständigen und durchführenden Mitarbeiter, Art, Datum und Ergebnisse der Qualitätssicherung sowie Korrekturen und Modifikationen, die durch die Qualitätssicherung ausgelöst wurden, erfassen. Darüber hinaus sollen kategoriespezifische Qualitätskontrollen dokumentiert werden.

Die Dokumentation und Archivierung der Qualitätssicherung erfolgt intern durch die Daten liefernde Einrichtung, sowie durch eine Zusammenfassung der Sicherungsmaßnahmen im nationalen Inventarbericht.

Vertrauliche Daten / Geheimhaltung

Generell sind vertrauliche Daten bei der Übermittlung als solche zu kennzeichnen, damit bei ihrer Verwendung entsprechende Vorkehrungen getroffen werden.

Im Rahmen der Inventarüberprüfung besteht eine generelle Pflicht, vertrauliche Daten offen zu legen, falls dies im Rahmen der Inventarüberprüfung aus Gründen der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Emissionsberechnungen von den Inventarprüfern für erforderlich gehalten wird. Inwieweit dies tatsächlich die Offenlegung von Einzelangaben berührt, soll im Einzelfall mit der Daten liefernden Einrichtung geklärt werden.

22.1.2.1.10 Anlage 1: Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung im Umweltbundesamt

22.1.2.1.10.1 Einführung

Die vom Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare beschlossenen allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung gelten für alle Beteiligten. Sie sind Grundlage für die Erhebung, Verarbeitung, Weitergabe und Berichterstattung von allen Daten, die der THG-Berichterstattung dienen und damit auch verbindlich für alle Arbeitseinheiten, die im Umweltbundesamt an der Erfüllung dieser Aufgabe mitwirken.

22.1.2.1.10.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung

Über die vom Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare beschlossenen allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung gelten im Umweltbundesamt die konkreten Festlegungen der Hausanordnung Nr. 11/2005, die das im QSE-Handbuch festgelegte Verfahren für alle an der Emissionsberichterstattung Beteiligten des UBA verbindlich vorschreibt (Geschäftsordnung des Umweltbundesamtes, Band II, Ziffer XV).

Die Anforderungen von Kapitel 8 der IPCC *Good Practice Guidance* sind über die Hausanordnung vollständig umgesetzt. Für eine effektive Erfassung und Durchführung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Inventarverbesserung wurden geeignete UBA-spezifische Instrumente etabliert (Verbesserungsplan und Inventarplan, siehe unter 22.1.2.1.10.3). Im Ergebnis wurde das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE) entwickelt, dass die in Kapitel 22.1.2.1.2 benannten Punkte implementiert hat.

22.1.2.1.10.2.1 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten im UBA

Hausanordnung Nr. 11/2005 regelt, dass das Fachgebiet *Emissionssituation* (FG V 1.6) "Nationale Koordinierungsstelle" im UBA ist. Diese Zuständigkeit ist in der Organisationsübersicht des UBA

unter der Rubrik: „Kontaktstellen internationaler Organisationen“ ausgewiesen und von den relevanten Ministerien durch einen Staatssekretärsbeschluss vom 05.06.2007 bestätigt worden.

Die Rollen und Verantwortlichkeiten der Nationalen Koordinierungsstelle und der an der Emissionsberichterstattung beteiligten Fachgebiete ergeben sich aus Kapitel 3.2 "Rollen und Verantwortlichkeiten" des QSE-Handbuchs. Die Fortschreibung und Pflege des QSE-Handbuchs und dessen Anhänge und Anlagen obliegt der Nationalen Koordinierungsstelle unter Einbeziehung der durch die Fachabteilungen benannten Ansprechpartner/innen. Die auf der Intranetseite der Nationalen Koordinierungsstelle veröffentlichte Version des QSE-Handbuchs und der mitgeltenden Unterlagen ist verbindlich.

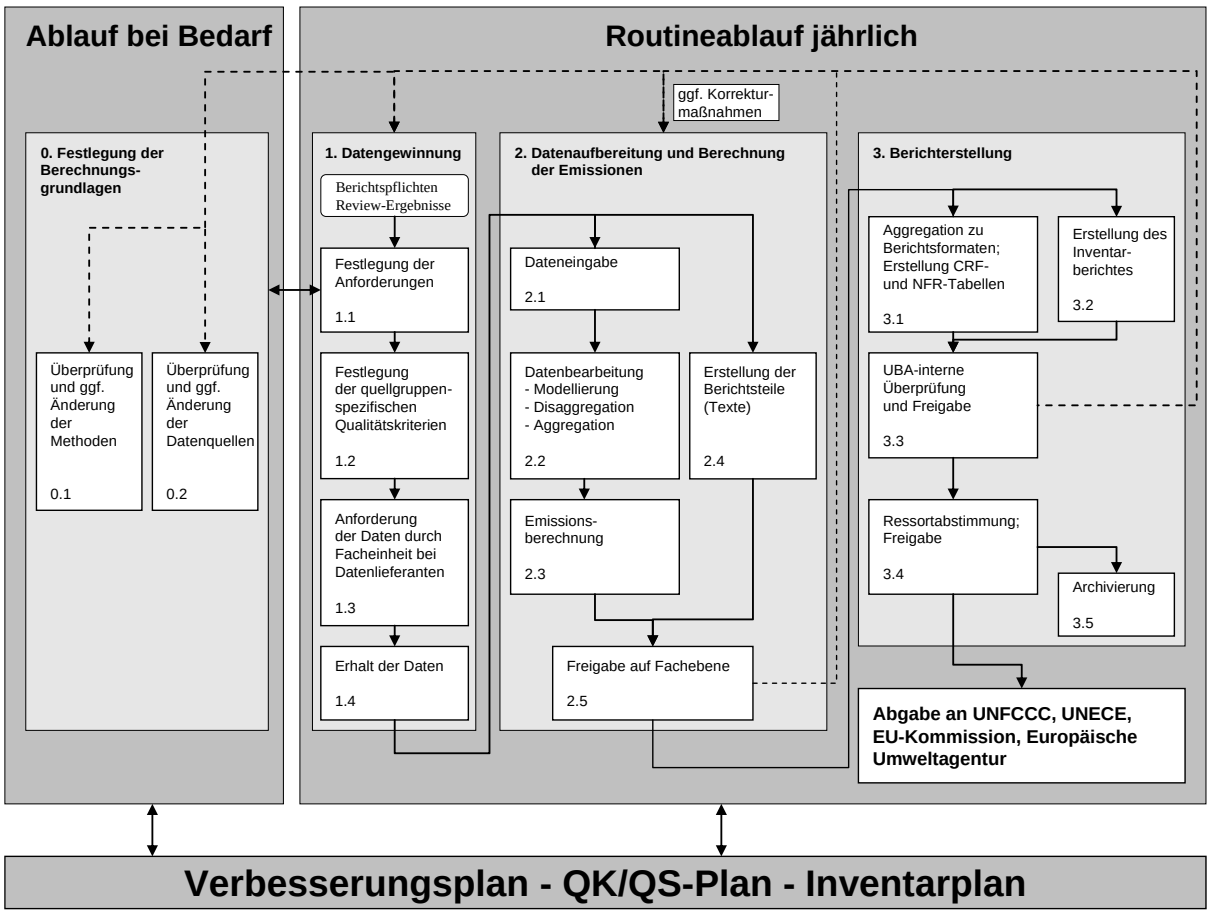
22.1.2.1.10.2.2 Verfahren zur Berichterstattung

Komplexe Tätigkeiten sind im Allgemeinen dadurch gekennzeichnet, dass am Ende des Durchlaufens einer Vielzahl von unterschiedlichen, aber miteinander in Verbindung stehenden und aufeinander aufbauenden Tätigkeiten (Prozessen), ein Produkt erzeugt wird. Für ein erfolgreiches Management dieser Prozesse ist es wichtig, sich dieser existierenden oder zu schaffenden Prozessabläufe bewusst zu werden und sie auf eine logische, der Realität entsprechende Weise zu beschreiben (Tätigkeiten, Abhängigkeiten, Verantwortlichkeiten, Zuständigkeiten u.v.m.) und in Verbindung zu setzen.

In der Praxis lassen sich die Abläufe komplexer Prozesse nicht widerspruchsfrei in die hierarchisch geprägten, traditionellen Strukturen von Unternehmen und Institutionen einpassen. Sie laufen diesen oft diametral entgegen, da sie meist Organisationseinheiten übergreifend gelagert sind. Eine an der Erstellung des Produkts orientierte Organisation von zusammenhängenden Arbeitsprozessen erfordert es, dass man sich von starren Hierarchiestrukturen löst und die Arbeitsprozesse mit dem Ziel der Verbesserung neu definiert.

Die Emissionsberichterstattung wurde daher zunächst als ein Prozess beschrieben, bei dem über mehrere miteinander verbundene Tätigkeiten am Ende ein Produkt (NIR und Inventare) entsteht (siehe Abbildung 100) Weiterführende Informationen finden sich im QSE-Handbuch Kapitel 4.3.

Abbildung 100: Übersicht zum gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung



Den innerhalb der abgebildeten Haupt- und Teilprozesse ablaufenden Tätigkeiten wurden über ein Rollenkonzept entsprechende Zuständigkeiten zugeordnet, die diese Prozesse durchführen/ausführen. Beispielsweise arbeiten viele Mitarbeiter in unterschiedlichen Arbeitseinheiten und Quellgruppen, führen dort aber im Wesentlichen die gleichen Tätigkeiten aus. Dies führte zur Entwicklung einer Personengruppe (Rolle; z.B. Fachverantwortliche). Dieser muss eine weitere Personengruppe (Rolle) nachgeordnet sein, die sicherstellt, dass die Anforderungen, die die erste Gruppe bei Ihrer Arbeit zu beachten und zu erfüllen hat, auch erreicht worden sind (z.B. Fachlicher Ansprechpartner). Des Weiteren wurde gemäß den Anforderungen des IPCC (siehe Kapitel 22.1.2.1.2) ein Koordinator für das QSE bestellt, damit sichergestellt wird, dass das System weiterentwickelt wird.

Im Ganzen wurde ein umfassendes Rollenkonzept entwickelt, dass den vielfältigen Anforderungen Rechnung trägt, die dem UBA aus seiner Aufgabe als Nationale Koordinierungsstelle erwachsen. Hierzu gehören folgende Rollen:

1. Fachverantwortlicher auf operativer Ebene (FV)

- Wesentliche Zuständigkeiten: Datengewinnung, Dateneingabe und Berechnung entsprechend den vorgegebenen Methoden, Durchführung von QK-Maßnahmen, Erstellen des NIR-Textes.

2. QK-Verantwortlicher (QKV)

- Ist Vorgesetzter des FV
- Wesentliche Zuständigkeiten: Prüfung und Freigabe der Daten und Berichtsteile

3. Fachliche Ansprechpartner (FAP)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Quellgruppenspezifische Betreuung der fachlich Zuarbeitenden (Inventararbeit und Berichterstellung) und Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung in den zugehörigen Kategorien in NIR und ZSE.

4. Berichtskoordinator (NIRK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Koordination von textlichen Zuarbeiten, Erstellung des NIR aus den einzelnen Zulieferungen, übergreifende QK und QS für den NIR

5. ZSE-Koordinator (ZSEK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Wartung der Datenbanken, Emissionsberechnung und Aggregation, Übergreifende QK und QS bei Eingabe und Berechnung des Inventars

6. QSE-Koordinator (QSEK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Aufrechterhaltung und Fortentwicklung des QSE (System, Checklisten, Verbesserungsplan, Inventarplan, QK/QS-Plan und QSE-Handbuch)

7. NaSE-Koordinator (NaSEK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: termingerechte und anforderungskonforme Berichterstattung, Einbindung nationaler Institutionen, Festlegung/Dokumentation von rechtlichen Vereinbarungen

Die oben erläuterten Rollen haben i.d.R. Aufgaben in mehreren Haupt- und Teilprozessen der Emissionsberichterstattung.

22.1.2.1.10.3 QK-Plan, QS-Plan und Inventarplan

Um zu gewährleisten, dass alle Verbesserungspotentiale, die im Zuge der Inventararbeiten ermittelt werden, einer systematischen Umsetzung zugeführt werden können, ist es unerlässlich diese zunächst auf koordinierte Weise zusammenzutragen. Dabei sind die erkannten Verbesserungspotentiale mit allen Informationen zu versehen (Herkunft des Verbesserungspotentials, Quellgruppe, Zuständigkeit, Priorität, etc.), die für eine zielgerichtete Weiterverwendung notwendig sind. Aufbauend auf diesen grundlegenden Informationen sind Festlegungen zur Umsetzung der erkannten Verbesserungspotentiale zu treffen (Handlungsbedarf/Korrekturmaßnahme, Terminsetzungen, etc.).

Zur Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE (siehe Abbildung 101) wurden Verfahren festlegt, wie die ermittelten Verbesserungspotentiale für das systematische Management der Verbesserungspotentiale aufbereitet und weiterverwendet werden sollen. Ziel ist es, die zentralen Fragen, WER, WAS, WIE, WANN und WARUM tun soll, zu beantworten:

WER: Gibt den Bezug zum Rollenkonzept: zuständig ist eine bestimmte Person xy mit der Rolle z.B. Fachverantwortlicher (FV)

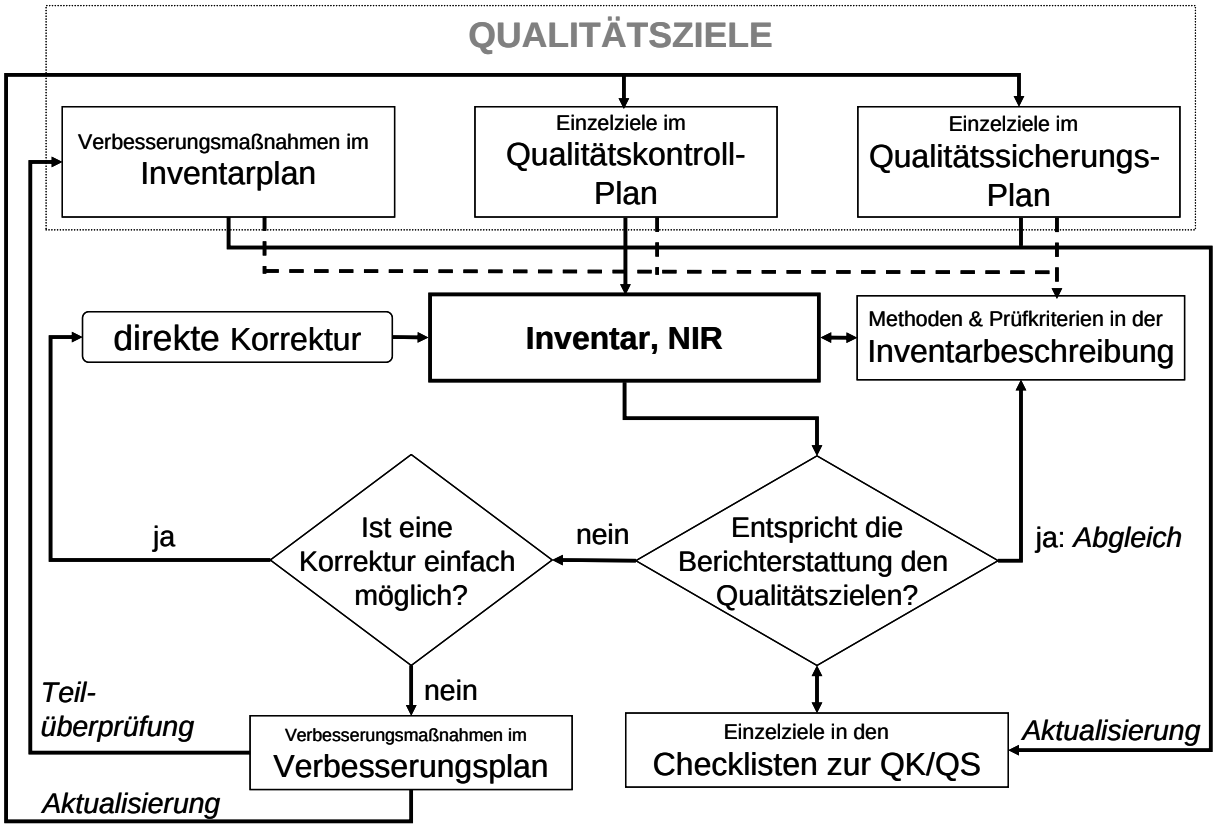
WAS: Gibt den Bezug zum Objekt, das verbessert soll, z.B. Verbesserung der CO_2-Berechnung in Kategorie xy

WIE: Gibt den Bezug zum Ziel, das erreicht werden soll, z.B. durch Erreichen einer bestimmten Verbesserung laut Inventarplan oder Checkliste.

WANN: Gibt den Bezug zum Zeitpunkt, bis zu dem die Verbesserung laut Inventarplan durchgeführt sein muss

WARUM: Gibt den Bezug zum Ursprung der notwendigen Handlung, z.B. aufgrund einer Empfehlung aus dem Überprüfungsprozess der UNFCCC

Abbildung 101: Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE



Die **Qualitätsziele** wurden den allgemeinen Qualitätszielen der *IPCC Good Practice Guidance* entnommen (Transparenz, Konsistenz, Genauigkeit, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit). Darüber hinaus sind für die einzelnen Kategorien operative Einzelziele zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung aus dem Vergleich zwischen den Anforderungen aus den *IPCC Good Practice Guidance*, den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfungen (UNFCCC und EU) und der Inventarrealität abgeleitet worden.

In einem **Verbesserungsplan** werden alle Verbesserungsmöglichkeiten beziehungsweise Beanstandungen aus den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfungen, gesammelt und mit möglichen Korrekturmaßnahmen hinterlegt. Sie werden durch die Nationale Koordinierungsstelle kategorisiert, mit Prioritäten versehen und in Rücksprache mit den Fachverantwortlichen teilweise in den **Inventarplan** überführt. Dort werden sie mit Terminen und Verantwortlichkeiten hinterlegt. Der Inventarplan durchläuft als Anhang des NIR einen Abstimmungs- und Freigabeprozess im UBA und im Koordinierungsausschuss und stellt somit ein verbindliches Vorgabedokument für die zukünftig umzusetzenden Verbesserungsmaßnahmen dar.

Um die Kontrolle und Durchführung von Maßnahmen zur Inventarverbesserung transparent und effektiv zu steuern, sind sie nach Maßgabe der IPCC *Good Practice Guidance* (Kapitel 8.5) im

Qualitätskontrollplan/Qualitätssicherungsplan (QK/QS-Plan) rollenspezifisch sowie gegebenenfalls kategoriespezifisch vorgegeben. Der QK-Plan bezieht sich ausschließlich auf die Ziele der Qualitätskontrolle des Inventars. Im QS-Plan können die Ziele der Qualitätssicherung das Inventar, den Prozess der Berichterstattung oder das QSE selbst zum Gegenstand haben. Weiterhin erfolgt im Qualitätssicherungsplan die zeitliche Planung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, die durch externe Dritte vorgenommen werden.

In den **Checklisten zur Qualitätskontrolle und zur Qualitätssicherung** sind entsprechend den Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungsplänen alle Einzelziele im Prozess der Emissionsberichterstattung aufgeführt. Die Checklisten werden allen für Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung verantwortlichen Akteuren zur Verfügung gestellt und sollen die Kontrolle der Erreichung der Einzelziele erleichtern. In den Checklisten wird die Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung dokumentiert. Sofern Einzelziele nicht erreicht werden und keine direkte Korrektur möglich ist, hat ein Eintrag in den Verbesserungsplan (siehe oben) zu erfolgen.

22.1.2.1.10.4 Verfahren zur allgemeinen und kategoriespezifischen Qualitätskontrolle

Aus den Anforderungen der IPCC Good Practice Guidance hat das Umweltbundesamt ein Checklistenkonzept entwickelt, in dem die Qualitätsanforderungen als konkrete Ziele formuliert wurden. Diese Einzelziele gilt es, zu erreichen. Die Zielerreichung wird in den Checklisten eingetragen und dokumentiert. Es sind Einträge von Ja (Ziel ist erreicht), über „Trifft nicht zu“ (Zielformulierung korrespondiert nicht mit der speziellen Situation der Quellgruppe; nur sehr selten als Antwort möglich) bis hin zu „Nein“ (Ziel konnte nicht erreicht werden) möglich.

Die Checklisten bestehen aus einem allgemeinen Teil, der die gesamten Tier 1 QK-Anforderungen der IPCC Good Practice Guidance reflektiert und mit jeder Berichterstattung durchgeführt wird. Zusätzlich beinhalten die Checklisten einen kategoriespezifischen Teil (Tier 2), der konkrete Zielvorgaben für den Bereich der Hauptkategorien macht.

Checklisten gibt es für die ersten fünf Rollen des Rollenkonzepts. In dem Maße, wie die verschiedenen Rollen für verschiedene Haupt- und Teilprozesse der Emissionsberichterstattung zuständig sind (vergleiche Kapitel 22.1.2.1.10.2.2), beziehen sich auch die Checklisten überwiegend auf mehrere Haupt- und Teilprozesse der Emissionsberichterstattung. Sie stellen somit einen Querschnitt durch die Emissionsberichterstattung her. Hierbei ist für die Checklisten der FV und der FAP eine gemeinsame Grundgesamtheit der zu erreichenden Ziele vorgesehen. Da die FAP dafür zuständig sind, die Arbeiten der FV zu prüfen, lässt sich dies am besten gewährleisten, wenn sich beide an gleichen Zielen orientieren müssen.

22.1.2.1.10.5 Verfahren zur Qualitätssicherung

Bereits mit dem Rollenkonzept sind die Verfahren derart gestaltet, dass die Qualitätssicherung immer zumindest über ein Vieraugenprinzip gestützt wird. In diesem Zusammenhang wurde den Fachlichen Ansprechpartnern (FAP) die Aufgabe übertragen, die Qualität der Emissionsberechnungen und textlichen Zuarbeiten der Fachverantwortlichen (FV) sicherzustellen.

IPCC stellt unter dem Punkt „Überprüfung durch unabhängige Experten (Experten-Peer Review)“ klar, dass das obige von UBA gewählte formale Prüfverfahren, die Überprüfungen eines Experten-Peer Review ergänzen, aber nicht ersetzen kann (Good Practice Guidance; Kapitel 8.8). Um unter Abwägung der vorhandenen Ressourcen, der begründeten Forderung nach Einbeziehung externer Experten entsprechen zu können, werden zum einen, für konkrete Fragestellungen, detaillierte Überprüfungen durch externe Dritte im Rahmen von Forschungsvorhaben und Gutachten durchgeführt. Eine Beauftragung Dritter wird generell von

beiden Seiten (d.h. FV und FAP) gemeinsam betreut. Zum anderen wurde das Instrument eines unregelmäßig durchgeführten Workshops zum Nationalen System ins Leben gerufen. Ziel dieses Workshops ist es, nationale Experten ins UBA zu laden und gemeinsam mit den UBA-Experten (FV) zu ausgewählten Kategorien aktuelle Inventarfragen zu besprechen.

Audits wurden im Umweltbundesamt bislang nicht durchgeführt und sind zurzeit nicht geplant. Laut Good Practice Guidance sind Audits nicht zwingend durchzuführen.

22.1.2.1.10.6 Dokumentation und Archivierung

Bei der Erstellung der deutschen Treibhausgas-Inventare soll eine im Grundsatz einheitliche Praxis bei der Dokumentation und Archivierung erreicht werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der zentralen Dokumentation und Archivierung in der Nationalen Koordinierungsstelle und der dezentralen Dokumentation und Archivierung, die in den Facheinheiten des UBA und in anderen Institutionen erfolgt.

Die Dokumentationsverfahren für Daten und Kontextinformationen unterscheiden sich bedarfsgemäß und umfassen einige Informationen überlappend, wobei es sich teilweise um Redundanzen handelt und teilweise um Informationen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Bei beiden ist die Konsistenz regelmäßig sicherzustellen.

Um eine im Grundsatz einheitliche Praxis für alle Arbeitseinheiten des Umweltbundesamtes zu erreichen, sind für die verwendeten Instrumente allgemeine oder speziell für die Emissionsberichterstattung entwickelte Vorgaben einzuhalten. Im Umweltbundesamt können für die Dokumentation die in Tabelle 577 beschriebenen Instrumente verwendet werden. Dabei sind die jeweils genannten Vorgaben zur Dokumentation einzuhalten. Sofern keine speziellen Vorgaben bestehen, sind die Anforderungen aus den „Allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung“ einzuhalten.

Tabelle 577: Dokumentationsinstrumente im Umweltbundesamt

Instrument	Vorgaben zur Dokumentation
öffentlich verfügbar	
Nationales Inventar (CRF-Tabellen, CRF-Reporter)	Anhang 2, QSE-Handbuch: Anleitung zur Durchführung der Rückrechnungen in den CRF–Tabellen
Nationaler Inventarbericht	Anhang 3, QSE-Handbuch: Vorgaben bei der Erstellung von Berichtsteilen im Nationalen System
Publikation	GO des UBA: Punkt 6.2 Veröffentlichungen
veröffentlichte Handbücher, Anleitungen	Bei IT-Beschreibungen: Vorgehensmodell UBA, sonst: keine speziellen Vorgaben
intern zentral in der Nationalen Koordinierungsstelle verfügbar	
Datenbank ZSE	Anhang 5, QSE-Handbuch: Vorgaben für die Datendokumentation im ZSE
Inventarbeschreibung	Anhang 4, QSE-Handbuch: Anforderungen an die Dokumentation und Archivierung
intern dezentral verfügbar	
Akten der zentralen Registratur	GO des UBA: Punkt 4.2.10 Aktenbehandlung
Handakte	keine speziellen Vorgaben
interne Handbücher, Anleitungen	Bei IT-Beschreibungen: Vorgehensmodell UBA, sonst: keine speziellen Vorgaben

Ein integriertes Dokumentationskonzept legt fest, welche wesentlichen Inhalte in den genannten Dokumentationsinstrumenten vorgehalten werden sollen und wie zwischen den genannten

Dokumentationsinstrumenten Konsistenz und Transparenz durch ein entsprechendes Verweissystem zwischen diesen Instrumenten herzustellen ist (siehe Anhang 4, QSE-Handbuch).

22.1.2.1.11 Anhang 2: Beispiel einer allgemeinen Checkliste für die Rolle Fachverantwortlicher

Im unten stehenden Beispiel (Stand: CHKL 2010) sind nur die relevanten Anforderungen abgebildet. Darüber hinaus gehende Detailinformationen wurden zur Verbesserung der Übersichtlichkeit entfernt.

Tabelle 578: Allgemeine Checkliste für Fachverantwortliche

Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel
Hauptprozess: 0. Festlegung der Berechnungsgrundlagen			
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die Berechnungsmethode steht im Einklang mit der aktuellen Hauptkategorienanalyse.	
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die Auswahl der Berechnungsmethode ist nach dem Entscheidungsbaum der IPCC-Good Practice Guidance erfolgt, bzw. stimmt mit diesen überein.	Abweichungen vom Entscheidungsbaum der IPCC-Good Practice Guidance sind fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die Auswahl der Berechnungsmethode hat die Anforderungen aus dem Inventarplan berücksichtigt.	Abweichungen vom Inventarplan wurden fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die ausgewählte Berechnungsmethode kann für die gesamte Zeitreihe ab 1990 angewendet werden oder wird bereits konsistent angewandt.	Bei Methodenwechsel in der Zeitreihe(n) ist die Durchführung einer Rekalkulation gemäß QSE-Handbuch (Anhang 2) und die Erstellung einer nachvollziehbaren Dokumentation sichergestellt.
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Abweichungen von den durch 0.1.01-0.1.04 geforderten Zielen sind fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Wurden neue Datenquellen verwendet?	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Datenquelle(n) ist/sind für die Zukunft langfristig verfügbar (z.B. auf Basis gesetzlicher Grundlagen, Vereinbarungen mit längerer Laufzeit [> 3 Jahre] etc.).	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Aus der/den Datenquelle(n) ist eine/mehrere vollständige Zeitreihe(n) ab 1990 verfügbar.	Lücken in der Datenverfügbarkeit für Zeitreihe(n) ab 1990 wurden nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Aus der/den Datenquelle(n) ist eine/mehrere vollständige Zeitreihe(n) ab 1990 verfügbar.	Für den Umgang mit Datenlücken wurde gemäß der IPCC Good Practice Guidance (Kap. 7.3.2.2) ein fachlich geeignetes Vorgehen (Inter-/Extrapolation) festgelegt und nachvollziehbar dokumentiert. Hinweis: Fortschreibung ist keine Extrapolation !
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Aus der/den Datenquelle(n) ist eine/mehrere vollständige Zeitreihe(n) ab 1990 verfügbar.	Nach der Schließung von Datenlücken ist, wo notwendig, eine Rekalkulation der Zeitreihe(n) gemäß QSE-Handbuch (Anhang 2) erfolgt und diese nachvollziehbar in NIR und CRF dokumentiert.

Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Datenquelle(n) deckt/decken die Kategorie vollständig ab.	Die unvollständige Abdeckung wurde in einer Hochrechnung und in der Unsicherheitenberechnung berücksichtigt. Alle Schritte sind nachvollziehbar dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Für die Datenquelle(n) liegen Angaben von Unsicherheiten (Höhe und Verteilung) vor.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	EF und AR stimmen in Ihrem Quellgruppenzuschnitt überein.	Bei fehlender Übereinstimmung von EF und AR können andere Datenquellen Deckungsgleichheit herstellen. Alternativ wurde die fehlende Übereinstimmung in einer Hochrechnung und in der Unsicherheitenberechnung berücksichtigt und alles nachvollziehbar dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Verfahren zur Berechnung der Ausgangsdaten sind nachvollziehbar beschrieben.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Auswahl der Datenquelle(n) hat die Anforderungen aus dem Inventarplan berücksichtigt.	Abweichungen wurden nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Annahmen und Kriterien, die zur Auswahl der jeweiligen Datenquelle(n) geführt haben sind nachvollziehbar dokumentiert.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Für die Datenquelle(n) werden durch den Datenlieferanten geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchgeführt. Bei Einzelvorhaben wurden einmalige Qualitätskontrollen durchgeführt. Die Durchführung ist dokumentiert.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Bei der Verwendung einer/mehrerer neuer Datenquellen wurde eine Rekalkulation gemäß QSE-Handbuch (Anhang 2) auf Basis dieser andere(n) Datenquelle(n) durchgeführt.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Bei Verwendung von IPCC-Default-EF sind diese hinsichtlich ihrer Generierung mit den nationalen Gegebenheiten verglichen worden und in Deutschland anwendbar. Das Ergebnis dieser Prüfung wurde nachvollziehbar dokumentiert.	Für IPCC Default-Werte die nicht mit den nationalen Gegebenheiten übereinstimmen, wurden die Abweichungen in den Unsicherheiten berücksichtigt und dokumentiert .
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Bei Verwendung anderer EF als der IPCC Default-EF, wurden diese nachvollziehbar begründet und dokumentiert. Hinweis: Die Verwendung anderer EF ist nur zulässig, wenn diese eine exaktere Berechnung der landesspezifischen Emissionen ermöglichen.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Ein Vergleich der verwendeten AR gegen andere Datenquellen (z.B. EU-ETS, IEA, EPER etc.) ist erfolgt und das Ergebnis nachvollziehbar dokumentiert.	
	Hauptprozess: 1. Datengewinnung		
1.1	Festlegung der Anforderungen	Die Anforderungen an die Daten berücksichtigen die Hinweise aus dem Inventarplan und den Inventarüberprüfungen (z.B. S&A Report, Centralized Review).	

| Prozess Nr. | Teilprozess Bezeichnung | Einzelziel | Optionales Ziel |

1.3	Anforderung der Daten durch Facheinheit bei Datenlieferanten	Die Anforderungen an die QK und die Datenformate sind an die Datenlieferanten und/oder die Auftragnehmer weitergegeben worden und diese Weitergabe ist dokumentiert. Hinweis: Wo Datenlieferanten über NaSE-Vereinbarungen eingebunden sind, ist Ziel erreicht.	Der Datenlieferant (z.B. Verbände) führt eigene routinemäßige Qualitätskontrollen durch und dieses Ergebnis ist dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Der Datenlieferant bzw. der Auftragnehmer hat die geforderten Qualitätskontrollen durchgeführt und dokumentiert.	Der Datenlieferant (z.B. Verbände) führt eigene routinemäßige Qualitätskontrollen durch und dieses Ergebnis wurde dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die erhaltenen Daten sind vollständig und weisen keine Datenlücken auf.	Alle Datenlücken in der Zeitreihe ab 1990 sind im Einklang mit den IPCC Good Pract. Guidance durch Extrapolation/Interpolation (Kap.7.3.2.2) geschlossen worden und nachvollziehbar dokumentiert und begründet. Hinweis: Fortschreibung ist keine Extrapolation
1.4	Erhalt der Daten	Die erhaltenen Daten sind konsistent mit den Vorjahreswerten und nachvollziehbar beschrieben.	Deutliche Abweichungen von den Vorjahreswerten sind nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die erhaltenen Daten liegen im Vergleich zu anderen Datenquellen (z.B. ETS-Daten, IEA, EPER etc.) in der gleichen Größenordnung. Das Prüfungsergebnis wurde dokumentiert.	Die Ursachen für Abweichungen sind nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die Methodik/Annahmen auf denen die Unsicherheitsbestimmungen basieren, sind nachvollziehbar dokumentiert.	Konnten keine Annahmen abgeleitet werden, wurde alternativ eine Expertenschätzung durchgeführt und die Qualifikation des Experten nachvollziehbar dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die Unsicherheitsbestimmungen sind vollständig und plausibel.	

Hauptprozess: 2. Datenaufbereitung / Emissionsberechnung

2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE) /	Die EF sind vollständig im ZSE eingetragen.	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Dokumentation der Datenherkunft von EF ist vollständig und entspricht den Anforderungen des QSE Handbuchs (Anhänge 3, 4 und 5).	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Entwicklung der EF innerhalb der Zeitreihe ist plausibel und im Falle von Auffälligkeiten (z.B. Größenordnungsänderungen) nachvollziehbar begründet und dokumentiert.	Unplausible EF wurden korrigiert.
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die AR sind vollständig im ZSE eingetragen.	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Dokumentation der Datenherkunft von AR ist vollständig und entspricht den Anforderungen des QSE Handbuchs (Anhänge 3, 4 und 5).	

Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Entwicklung der AR innerhalb der Zeitreihe ist plausibel und im Falle von Auffälligkeiten (z.B. Größenordnungsänderungen) nachvollziehbar begründet und dokumentiert.	Unplausible Abweichungen wurden korrigiert.
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Nach Abschluss der Dateneingabe in das ZSE wurde die Richtigkeit der Eingabe von	

		Zahlen, Einheiten und Umrechnungsfaktoren überprüft und bestätigt.	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Unsicherheiten sind vollständig im ZSE eingegeben und entsprechend den Anforderungen des QSE Handbuchs (Anhänge 3, 4 und 5) dokumentiert.	
2.2	Datenbearbeitung (Modellbildung, Disaggregation, Aggregation)	Eine adäquate Beschreibung der Modelle in Bezug auf Aufbau, Modellstruktur, Rechengang, Annahmen etc. liegt in der Inventarbeschreibung vor.	
2.3	Emissionsberechnung	Die aktuellen Inventarberechnungen sind mit Berechnungen vorhergehender Berichterstattungen abgeglichen worden.	Bei signifikanten Änderungen oder auffälligen Abweichungen vom erwarteten Trend, wurde die Rechnung und die Eingangsdaten der Berechnung überprüft und weiterbestehende Unterschiede begründet und dokumentiert.
2.3	Emissionsberechnung	Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen/vorhergehenden Berichterstattungen sind mit anderen Datenquellen für Deutschland, insbesondere ETS-Daten, abgeglichen worden und vergleichbar. Das Ergebnis wurde nachvollziehbar dokumentiert.	Wenn eine Vergleichbarkeit nicht gegeben ist bzw. ein Vergleich nicht durchgeführt wurde, ist dies fachlich und nachvollziehbar begründet worden.
2.3	Emissionsberechnung	Der nationale implizierte EF (national Implied EF; siehe S&A Report I) der vorhergehenden Berichterstattung ist mit den implizierten EF anderer Länder vergleichbar (gleiche Größenordnung).	Extreme implied EF, sind im NIR fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert worden bzw. es wurde auf eine bestehende Begründung verwiesen.
2.4	Erstellung Berichtsteile (Texte)	Die Kategorie ist für den NIR entsprechend der geforderten sechs Unterkapitel des NIR ("Beschreibung der Quellgruppe", "Methodische Aspekte" etc.) vollständig und nachvollziehbar beschrieben.	
2.5	Freigabe auf der Fachebene	Die Werte von AR, EF, ED und deren Unsicherheiten im NIR sind aktuell und mit den Werten im ZSE kongruent.	
2.5	Freigabe auf der Fachebene	Die Dokumentation der Datenherkunft von AR, EF, ED und deren Unsicherheiten im NIR ist aktuell und mit den Angaben im ZSE kongruent.	Fehlende oder unvollständige Dokumentationen der Datenherkunft sind fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.

22.1.3 Das Datenbanksystem Zentrales System Emissionen

Als informationstechnologisches Werkzeug für die Inventarerstellung etabliert und pflegt das Umweltbundesamt seit 1998 eine integrierte nationale Datenbank, das *Zentrale System Emissionen (ZSE)*. Das ZSE setzt die vielfältigen Anforderungen an die Emissionsberechnung und -berichterstattung um und automatisiert wesentliche Arbeitsschritte. Es unterstützt die Inventarplanung und die Berichterstattung (z. B. durch Emissionsberechnung, -rekalkulation und Fehleranalyse) sowie das Inventarmanagement (z. B. durch Archivierung, jährliche Evaluierung der Daten) und das Qualitätsmanagement auf der Datenebene (siehe UBA 2003a, Projekthandbuch Decor). Mit Hilfe des ZSE werden die Schlüsselanforderungen der Transparenz, Konsistenz, Vollständigkeit, Vergleichbarkeit und Genauigkeit auf der Datenebene erfüllt.

Dabei wird der Datendokumentation eine zentrale Rolle eingeräumt. Das ZSE speichert die zuständigen Bearbeiter, die Datenquellen und Berechnungsverfahren sowie die Unsicherheiten von Zeitreihenwerten. Auch Zeitpunkt und Verursacher von Änderungen werden festgehalten. Das System verfügt über eine Historienverwaltung, die gelöschte Werte archiviert und bei Bedarf wiederherstellt. Rückverfolgungen und Rekonstruktion von Daten sowie eine unabhängige Überprüfung durch Dritte werden so ermöglicht. Für die Durchführung der Qualitätssicherung auf der Datenebene werden unterstützende Instrumente bereitgestellt (z. B. eine Komponente

zur Erfassung von Unsicherheiten, Plausibilitätsprüfungen). Der Transparenz wird vor allem dadurch Rechnung getragen, dass die Datenerfassung in derselben Struktur erfolgt, in der die Daten bereitstehen und sämtliche Bearbeitungen und Transformationen hin zu einem Berichtsformat erst im ZSE selbst und damit nachvollziehbar erfolgen. Das ZSE verwaltet dazu detaillierte technik-spezifische Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren, die über Rechenregeln (Berechnungsverfahren) zu aggregierten, kategoriespezifischen Werten für die Berichtsformate verdichtet werden. Die Aggregation der einzelnen ZSE-Zeitreihen zu den CRF-Berichtszeilen beispielsweise sind in Anhang 3 bzw. Kapitel 3ff jeweils bei den einzelnen Kategorien beschrieben. Neben der Aggregation und Modellbildung für Berechnungen unterstützt das ZSE auch die Durchführung von Szenarien- und Prognoseberechnungen sowie beim Reference Approach.

Über das Zentrale System Emissionen wird zudem der Datenaustausch im Rahmen des Nationalen Systems, also innerhalb des UBA und mit Dritten, organisiert. Neben der Direkteingabe werden dazu aus vorhandenen Datenbanken aggregierte Werte über eine Standardschnittstelle importiert (z. B. TREMOD für Verkehrsdaten oder GAS-EM für Daten zur Landwirtschaft). Ziel ist es, dass Inventardaten möglichst direkt von den inhaltlich zuständigen Fachverantwortlichen in das ZSE eingepflegt oder vom ZSE-Administrator über die Importschnittstelle eingelesen werden. Dies gilt für UBA-interne und für externe Mitwirkende am Nationalen System. Um dies zu erreichen, wurden verschiedene Maßnahmen umgesetzt:

- Mit der Bereitstellung eines *Standardisierten Importformats des ZSE* im Jahr 2002 wurde der direkte Datenimport aus anderen emissionsrelevanten Datenbanken ermöglicht.
- Im September 2002 wurde den beteiligten Fachexperten aus dem UBA ein direkter Zugang zum ZSE über das UBA-Netzwerk ermöglicht
- Seit November 2002 werden jährlich Schulungen für die betroffenen UBA-Mitarbeiter zur Handhabung des ZSE durchgeführt.
- Seit 2005 erfolgt die Erfassung qualitativer und quantitativer Angaben über die Datenunsicherheit im ZSE.
- Seit 2006 erfolgt die Erfüllung der Berichtsverpflichtungen unter der Genfer Luftreinhaltekonvention und von EU-Regelungen (z. B. der NEC-Richtlinie) über das ZSE.
- Über einen Fernzugriff können seit 2008 auch UBA-externe Datenlieferanten und Experten sowie Projektpartner interaktiv mit dem ZSE arbeiten.

22.1.4 Verification of the German Greenhouse Gas Inventory

22.1.4.1 Introduction

In 2021 4 independent set of data were used. They were selected amongst the criteria given in the 2019 refinements of the IPCC guidelines for verification (Romano *et al.*, 2019). Here the IPCC lists several data sources that may serve as independent verification datasets. The most prominent dataset amongst the options listed under 6.10.1 of the 2019 refinements are the Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) of the JRC (Crippa *et al.*, 2019). We chose this dataset for verification as it is widely used amongst the atmospheric research community and is for example used in the compilation of the Copernicus Atmospheric Monitoring Service data products for methane (Seegers, Houweling and Tokaya, 2020) and CO_2 (Chevallier, 2020). EDGAR is also compiled by data sources (Crippa *et al.*, 2021)) that are listed in the IPCC refinements under 6.10.1, therefore, EDGAR represents a prime synergetic dataset that has to be included in any verification work.

Another important source of data that is explicitly mentioned is data from inverse modelling, discussed in the IPCC refinements in chapter 6.10.2. Under 6.10.2.5 CAMS data is explicitly mentioned as a potential source of verification data. Therefore, the CAMS global inversion data

from the Copernicus Atmospheric Datastore is used for verification, which is available for N_2O (Thompson, 2021), CO_2 (Chevallier, 2020) and CH_4 (Crippa *et al.*, 2021).

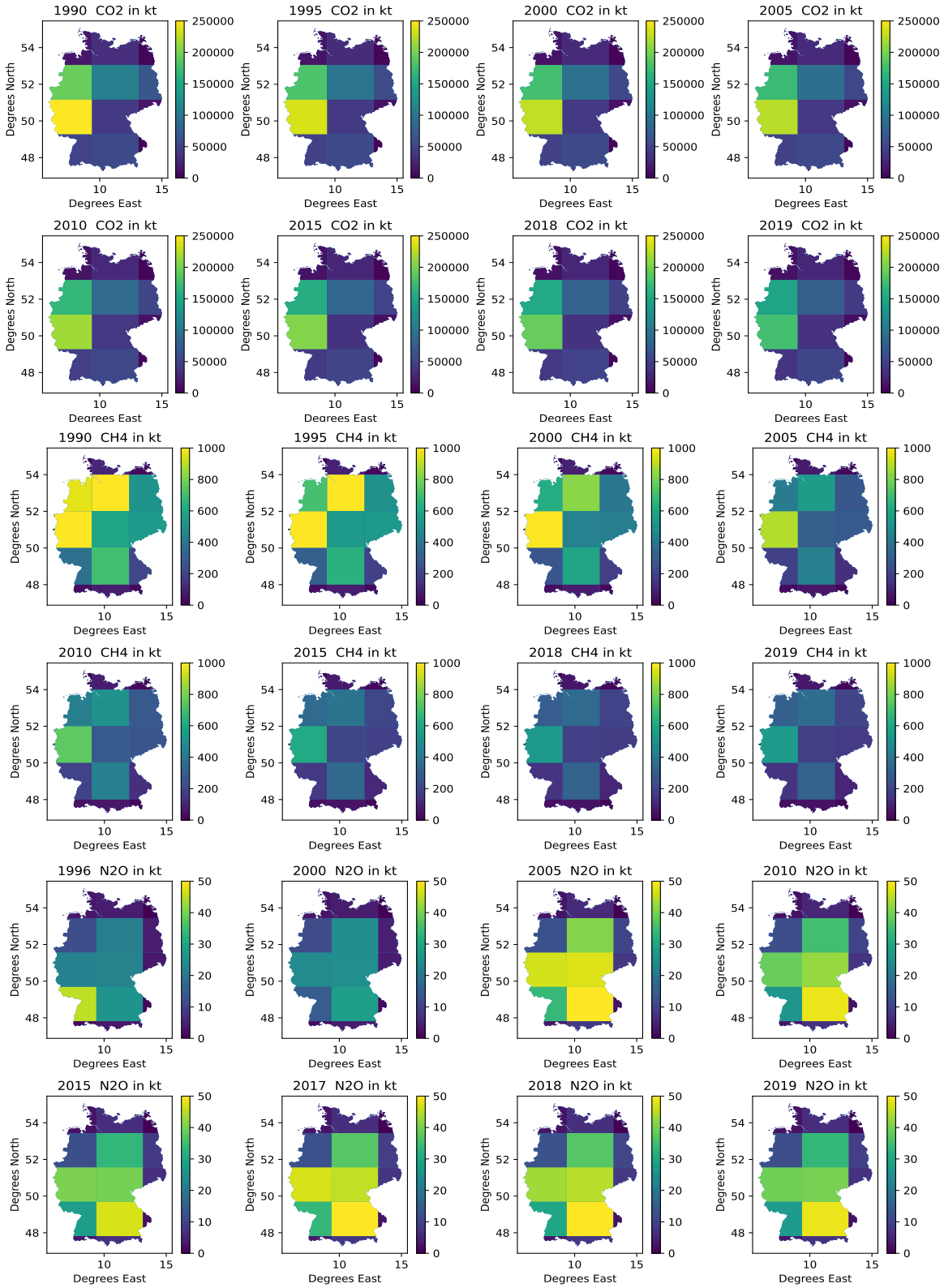
The last two independent sources of data that will be used for verification are not explicitly listed by the IPCC 2019 refinements (Romano *et al.*, 2019). These are the database of the Pollution Release and Transfer Register (PRTR) (Umweltbundesamt, 2022) and the data from the European Emission Trade System (ETS), provided by the European Environment Agency (EEA, 2022). Details of the German PRTR data as well as the database may be found under: https://thru.de/thrude/. Details with respect to the ETS data may be found in the European topic center report compiled by (Graichen, Cludius and Gores, 2019). These four diverse and independent datasets are ideal for a verification of the German inventory according to the IPCC Refinements of 2019 (Romano *et al.*, 2019). Data for all of the three major Green House Gases (GHG) N_2O, CH_4 and CO_2 for all the sectors (including LULUCF/AFOLU) were compared with the four datasets in order to verify the temporal trends in diagrams and by standard mathematical similarity operators such as the Pearson and Spearman-Rank correlations, which are widely used to compute similarity between two mathematical vectors.

The main aim of this chapter is to offer qualitative and semi-quantitative comparisons of the national totals for the three major GHGs methane, nitrous-oxide and CO_2 to independent sources of GHG data. The specific focus is set on the verification of temporal trends in the yearly national totals of the three above named GHGs in kt or Gt of CO_2 equivalent. Direct sectoral comparisons has not been considered as the verification data exhibit very different levels of disaggregation (from none, as in case of the CAMS data product, up until very detailed, as in case of EDGAR).

22.1.4.2 Methods and Materials

The four sets of data each require their own analysis tools that have been developed for this verification work. Whilst the EDGAR database is available for modelling activities in yearly gridded format, it is also available as tabulated document presenting only the national totals. The PRTR- database, in form of an sql-database file offers all the national reported data on large point sources, whilst the CAMS data is available in monthly slices in netcdf-Format. The ETS data is available as a csv file for download hosted at the EEA.

Abbildung 102: Time Slice Emission data for Germany from the CAMS data store



22.1.4.2.1 The EDGAR Inventory

The EDGAR Inventory Data and its methodology for previous versions of the EDGAR GHG Database has been described in detail in (Crippa et al., 2019). An update of this report is currently in preparation. EDGAR strives to support all countries of the world with emission inventory data. In the process EDGAR is compiled in a consistent, homogeneous and transparent manner (Crippa et al., 2021). This is of high benefit for e.g. all developing countries, who do not yet have consistent inventory data. In addition, the gridded emission data of EDGAR is highly appreciated in the inverse modelling community, who rely on globally consistent gridded emission data for their model runs. Calculation of the CAMS CO_2 and CH_4 inversion optimized data product require the usage of EDGAR data as stated in (Seegers, Houweling and Tokaya, 2020) and (Chevallier, 2020). The yearly national total data from the tabulated EDGAR files (Crippa et al., 2021) will be used in the following for the here presented verification work for CO_2, N_2O and CH_4.

22.1.4.2.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data

The CAMS global inversion optimized GHG data is a compilation of data, which are produced by three different processing chains. The CH_4 production chain is described in (Seegers, Houweling and Tokaya, 2020). Data processing for the compilation of the N_2O data is detailed in (Thompson, 2021), whilst (Chevallier, 2020), describes the data for the CO_2 product. Abbildung 102 shows the data from the three processing chains, clipped to the extent of Germany. The spatial resolution of the data differs from 3.75° longitude x 1.875° latitude (Thompson, 2021) to 3° longitude x 2° latitude for the methane data product (Seegers, Houweling and Tokaya, 2020). For the verification of the data three different inversion runs can be selected from the application programming interface of CAMS. These are based either on no additional input (time series from 1991 till 2020), surface air samples (time series from 1979-2020), spaceborne data (time series from 2015 onwards), or a combination of surface air samples (time series from 1979 to 2020) and spaceborne data (time series from 2009 to 2019). The longest time series option (surface air sample) was chosen, for the data comparison work presented here to enable the longest trend comparison possible for all three GHGs. Please note that the CAMS time series data for N_2O only starts from 1996 onwards whilst the comparisons for CO_2 and CH_4 use the full timespan from 1990 till 2018.

22.1.4.2.3 The Pollution Release and Transfer Register

The PRTR database is offered as an SQL-Database file at the domain thru.de by the Umweltbundesamt in Germany. It is comprised of reported data for large emission sources in Germany. The PRTR reporting is based on the European Union Regulation No 166/2006 on the establishment of a PRTR register. To access the PRTR database and extract annual data for the three GHGs a modified Python script was used, which is based on the PRTR reporting tool (Hausmann, Zagorski and Mielke, 2021). Abbildung 103 shows the data of the PRTR point sources reported in the PRTR database file to illustrate points of high point-source emission activity. Currently the database offers PRTR data from 2007 till 2018.

22.1.4.2.4 The European Emission Trade Data

The ETS database is hosted by the EEA (EEA/EuTL (2021)), which also provides a webtool for the display, download and analysis of the data. The data lists the different sectors, which are part of the ETS system, with their respective CO_2 emission equivalents. More details on the database and an in-depth analysis can be found in (Graichen, Cludius and Gores, 2019).

22.1.4.3 Analysis

The analysis of the data requires an overlapping time-period with the GHG totals of Germanys national inventory. Therefore, the time-period from 1990-2018 was considered as time frame for the comparisons considering the temporal coverage of the three comparison data sets. The available data was, where applicable (the CAMS and the PRTR data), plotted for a visual comparison shown in Abbildung 102 and Abbildung 103 to visually identify potential spatial patterns and to highlight the spatial density or sparsity of the data in question. The pearson and the spearman-rank correlation were computed for the individual temporal verification datasets to the national inventory data in the overlapping time periods visible in Abbildung 104. These two mathematical similarity measures were computed, in order to quantify the similarity between the temporal trends visible in Abbildung 104, for trend verification purposes. The results are shown in Tabelle 579.

22.1.4.3.1 The EDGAR Inventory

EDGAR data was extracted from the national totals spread-sheets, offered as download from the JRC (Crippa et al., 2021). The national totals for Germany were converted to kt CO_2 equivalent for a better comparison of the data to the national inventory. For this the same GWP factors for CH_4 and NO_2 were used as in case of Germanys national inventory report (25 for methane and 298 for nitrous oxide). Abbildung 104Tabelle 579 shows the EDGAR data in orange, whilst the national inventory data is plotted as thick blue line.

22.1.4.3.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data

The CAMS inversion optimized GHG data was aggregated to the spatial scale of Germany using a spatial vector data file symbolizing the country area of Germany (Patterson and Kelso, 2022), which was intersected with the CAMS data, enabling the cropping of the data pixels. Then the equal earth projection (Šavrič, Patterson and Jenny, 2019) was used to calculate the area of each cell in-order to convert the CAMS flux data to mass per pixel and month. These were then summed up for all twelve months of the respective year to yield the total for the respective gas and year. The data is shown as green line in Abbildung 104.

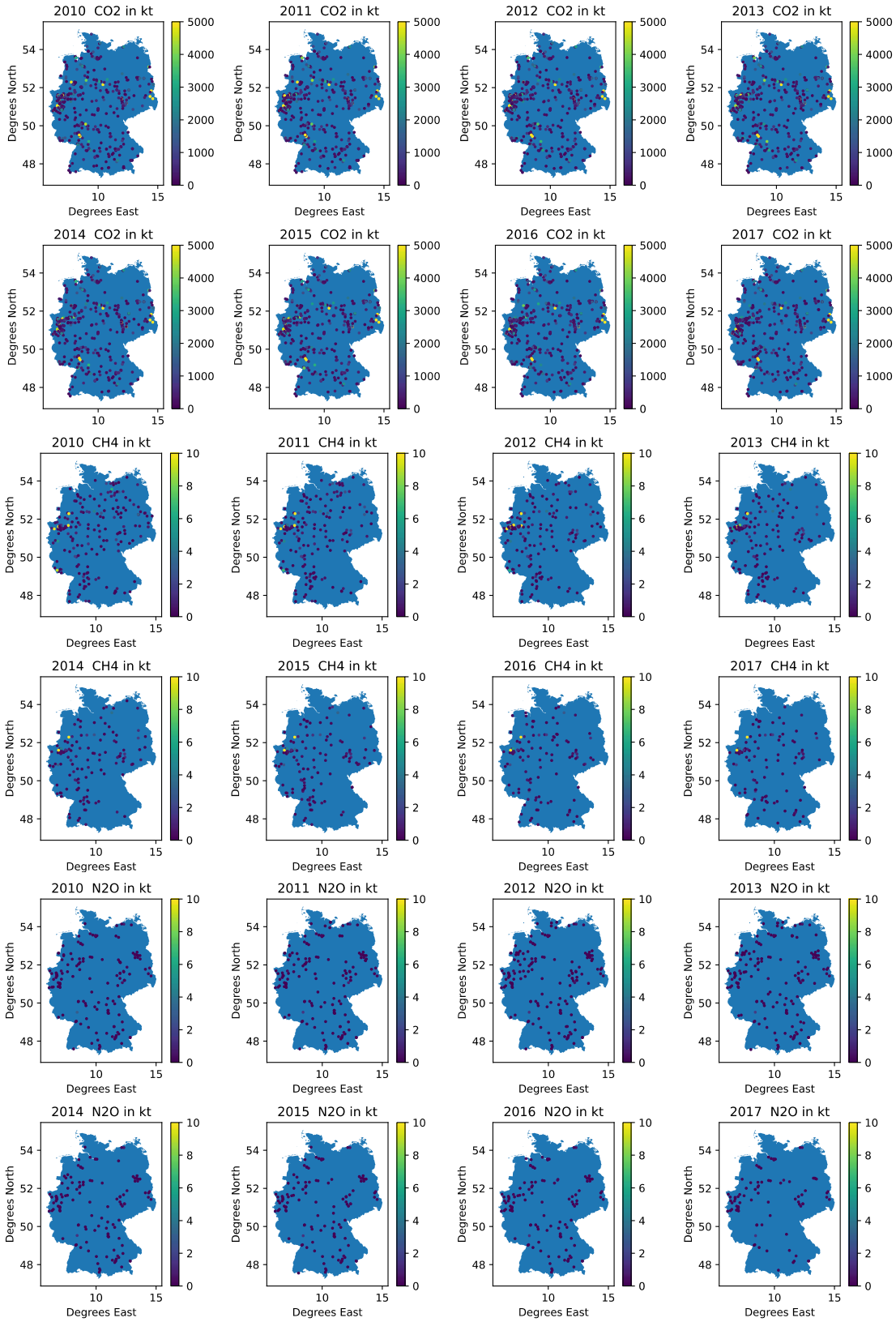
22.1.4.3.3 The Pollution Release and Transfer Register

The PRTR database was queried for data reported from large point-sources. These data contain the longitude and latitude coordinates of each point source, which offers the possibility of spatially displaying the data, as shown in Abbildung 103 for visualisation. The yearly sums, plotted as red line in Abbildung 104, were directly extracted from the database file.

22.1.4.3.4 The European Emission Trade System

The data of the ETS system, hosted by the EEA (EEA, 2022), are filtered for the total verified Emissions of all sectors and plotted against the sum of N_2O and CO_2 of all the other datasets as shown in the leftmost bottom diagram of Abbildung 104. As data from the ETS system does not cover methane the ETS data is only compared to the sum of the respective gases CO_2 equivalent in Tabelle 579.

Abbildung 103: Time Slice Emission data for Germany from the EPRTR Database



22.1.4.4 Results and Discussion

The trend data in Abbildung 104 shows very different patterns for each of the three GHG, which is also visible in Tabelle 579. Overall the EDGAR data shows the highest trend similarity to the

national GHG total with correlation scores above 0.9, whilst the CAMS data shows large similarity to the national CH_4 total only in case of CH_4 and CO_2. The biggest disagreement is between the CAMS N_2O trend and the national totals for N_2O with rather small correlation values for the pearson correlation and the spearman rank correlation.

Tabelle 579: Correlation Scores for the three datasets to the German inventory totals

CO_2	PRTR	CAMS	EDGAR	ETS
Pearson	0.354	0.98	0.919	NaN
Spearman-Rank	-0.779	0.979	0.929	NaN
CH_4	**PRTR**	**CAMS**	**EDGAR**	**ETS**
Pearson	0.986	0.966	0.994	NaN
Spearman-Rank	0.986	0.933	0.999	NaN
N_2O	**PRTR**	**CAMS**	**EDGAR**	**ETS**
Pearson	0.984	-0.398	0.975	NaN
Spearman-Rank	0.475	-0.273	0.878	NaN
CO_2 and N_2O	**PRTR**	**CAMS**	**EDGAR**	**ETS**
Pearson	0.447	0.85	0.93	0.84
Spearman-Rank	0.22	0.81	0.97	0.79

22.1.4.4.1 The EDGAR Inventory

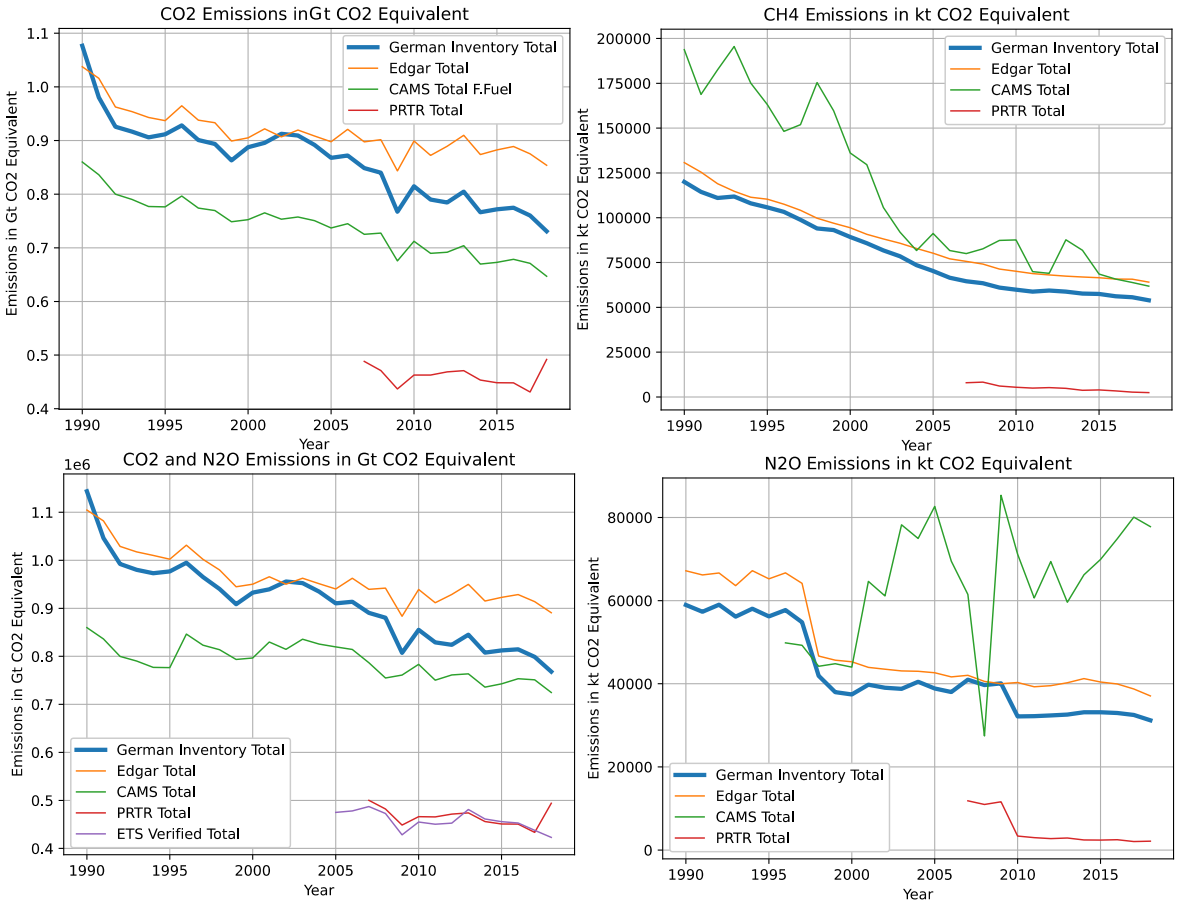
The EDGAR inventory usually is in good agreement with the national inventory data with high correlation values to the national inventory totals, as shown in Tabelle 579 and as visible by the orange line, which is always in close agreement with the reported national totals (thick blue line) in Abbildung 104. Overall, the EDGAR data shows slightly higher emission values, which is to be expected if different data sources are used to compile a worldwide consistent emission database.

22.1.4.4.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data

The CAMS inversion optimized datasets show anticorrelation for N_2O, with the trends shown in the green curve of Abbildung 104 not matching the general trend of the inventory data in blue or the EDGAR data in orange. In addition, temporal gradients are starkly amplified in the CAMS N_2O data, if compared to the inventory data. E.g. the dip during the financial crisis in Europe around 2008. The trend between the bottom-up inventories and CAMS data is in good agreement for CO_2 and CH_4 as shown in Abbildung 104, with correlation scores close to 0.99. Here the bottom-up inventories show an almost exactly the similar trend as the CAMS data, especially in case of the CO_2 CAMS data. This is remarkable considering the coarse spatial resolution of the CAMS data product and the research that is carried out to further refine CO_2 data modelling for inventory verification. Currently there are several big research projects underway to offer a consistent CO_2 monitoring system at a finer spatial and temporal resolution. Good examples are the European project COCO2, which will offer high quality CO_2 monitoring data over Europe. Methane data from CAMS, as shown in Abbildung 104, shows a good agreement of the trend to the inventory data, as also visible by the high correlation scores in Tabelle 579. The green curve in Abbildung 104 is starting at higher emission values for the 1990s but is approaching EDGAR values in the early 2000s and is even showing close agreement to the national inventory data of Germany in the last years of the time series. N_2O data from CAMS shows a strong oscillation, if compared to the national inventory and EDGAR data. Therefore, anticorrelation values are rather seen in table

Tabelle 579. Remarkable is the large dip around 2008, which shows a strong contrast in the data if compared to the bottom-up inventories.

Abbildung 104: Trend plots for CO_2 CH_4 and N_2O emission totals over the years 1990-2018



22.1.4.4.3 The Pollution Release and Transfer Register

The PRTR data matches the trends of the reported national GHG gases quite well, as highlighted in Tabelle 579. Here we see quite consistent correlation scores for methane and nitrous oxides. The low correlation values for CO_2 are due to an increase in CO_2 emissions in the PRTR data, compared to the overall decline of CO_2 in the national totals. The strong decline in the nitrous oxides of the national totals is mirrored by the PRTR data, showing the stop of N_2O emissions from large point sources represented by the PRTR database.

22.1.4.4.4 The European Emission Trade System

The data from the ETS verified totals for Germany fits quite well to the overall trends in the inventory data with correlation scores around 0.8 for both spearman-rank and pearson correlations as shown in Tabelle 579. This shows that the temporal trend of the combined N_2O and CO_2 emissions of Germanys national inventory is in agreement with the external ETS data.

22.2 Ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

22.2.1 KP-LULUCF

Die CRF-Tabellen werden separat berichtet.

22.2.2 Standard Electronic Format (SEF) Tabellen

22.2.2.1 Standard Electronic Format for the reported year 2020 (Commitment Period 2)

Report type	RREG1
Registry	DE
Reported year	2021
Submission year	2022
CP	2
Version	1
Status	FINAL
Validity	VALID

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 1. Total quantities of Kyoto Protocol units by account type at beginning of reported year

	Account type	Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Party holding accounts	NO	NO	NO	4.269.200	NO	NO
2	Entity holding accounts	NO	30.612	NO	1.702.300	NO	NO
3	Retirement account	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Previous period surplus reserve account	NO					
5	Article 3.3/3.4 net source cancellation accounts	NO	NO	NO	NO		
6	Non-compliance cancellation account	NO	NO	NO	NO		
7	Voluntary cancellation account	NO	NO	NO	9.071.153	NO	NO
8	Cancellation account for remaining units after carry-over	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9	Article 3.1 ter and quater ambition increase cancellation account	NO					
10	Article 3.7 ter cancellation account	NO					
11	tCER cancellation account for expiry					NO	
12	lCER cancellation account for expiry						NO
13	lCER cancellation account for reversal of storage						NO
14	lCER cancellation account for non-submission of certification report						NO
15	tCER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO	NO	
16	lCER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO		
17	lCER replacement account for reversal of storage	NO	NO	NO	NO		NO
18	lCER replacement account for non-submission of certification report	NO	NO	NO	NO		NO
	Total	NO	30.612	NO	15.042.653	NO	NO

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 2 (a). Annual internal transactions

	Transaction type	Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
	Article 6 issuance and conversion												
1	Party-verified projects		NO					NO		NO			
2	Independently verified projects		NO					NO		NO			
	Article 3.3 and 3.4 issuance or cancellation												
3	3.3 Afforestation and reforestation			NO				NO	NO	NO	NO		
4	3.3 Deforestation			NO				NO	NO	NO	NO		
5	3.4 Forest management			NO				NO	NO	NO	NO		
6	3.4 Cropland management			NO				NO	NO	NO	NO		
7	3.4 Grazing land management			NO				NO	NO	NO	NO		
8	3.4 Revegetation			NO				NO	NO	NO	NO		
9	3.4 Wetlands drainage and management			NO				NO	NO	NO	NO		
	Article 12 afforestation and reforestation												
10	Replacement of expired tCERs							NO	NO	NO	NO	NO	
11	Replacement of expired lCERs							NO	NO	NO	NO		
12	Replacement for reversal of storage							NO	NO	NO	NO		NO
13	Cancellation for reversal of storage												NO
14	Replacement for non-submission of certification report							NO	NO	NO	NO		NO
15	Cancellation for non-submission of certification report												NO
	Other cancelation												
16	Voluntary cancellation							NO	NO	NO	3.245.865	NO	NO
17	Article 3.1 ter and quater ambition increase cancellation							NO					
	Sub-total		NO	NO				NO	NO	NO	3.245.865	NO	NO

	Transaction type	Retirement					
		Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Retirement	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	Retirement from PPSR	NO					
	Total	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 2 (b). Total annual external transactions

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
	Total transfers and acquisitions												
1	AU	NO	NO	NO	605.571	NO	NO	NO	NO	NO	688.613	NO	NO
2	CDM	NO	NO	NO	14.829.382	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	CH	NO	NO	NO	570.050	NO	NO	NO	NO	NO	4.701.981	NO	NO
4	ES	NO	NO	NO	658.600	NO	NO	NO	2.200	NO	11.363	NO	NO
5	EU	NO	NO	NO	3.473.439	NO	NO	NO	NO	NO	1.546.023	NO	NO
6	GB	NO	NO	NO	37.732	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7	NL	NO	NO	NO	1.676.504	NO	NO	NO	NO	NO	3.306.844	NO	NO
8	NO	NO	NO	NO	30.429	NO	NO	NO	NO	NO	12.000	NO	NO
9	SE	NO	NO	NO	21.566	NO	NO	NO	NO	NO	3.416	NO	NO
10	SI	NO	NO	NO	1.510.000	NO	NO	NO	NO	NO	1.605.699	NO	NO
11	FR	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1.200.087	NO	NO
12	MT	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	155	NO	NO
	Sub-total	NO	NO	NO	23.413.273	NO	NO	NO	2.200	NO	13.076.181	NO	NO

Table 2 (c). Annual transactions between PPSR accounts

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
	Transfers and acquisitions between PPSR accounts												
	Sub-total	NO						NO					

Table 2 (d). Share of proceeds transactions under decision 1/CMP.8, paragraph 21 - Adaptation fund

		Amount transferred or converted						Amount contributed as SoP to the adaptation fund					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	First international transfers of AAUs	NO						NO					
2	Issuance of ERU from party-verified projects		NO						NO				
3	Issuance of independently verified ERUs		NO						NO				

Table 2 (e). Total annual transactions

1	**Total (Sum of sub-totals in table 2a and table 2b)**	NO	NO	NO	23.413.273	NO	NO	NO	2.200	NO	16.322.046	NO	NO

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 3. Annual expiry, cancellation and replacement

	Transaction or event type	Requirement to replace or cancel			Replacement						Cancellation					
		Unit type			Unit type						Unit type					
		tCERs	lCERs	CERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
	Temporary CERs															
1	Expired in retirement and replacement accounts	NO			NO	NO	NO	NO	NO							
2	Expired in holding accounts	NO													NO	
	Long-term CERs															
3	Expired in retirement and replacement accounts		NO		NO	NO	NO	NO								
4	Expired in holding accounts		NO													NO
5	Subject to reversal of storage		NO		NO	NO	NO	NO		NO						NO
6	Subject to non-submission of certification Report		NO		NO	NO	NO	NO		NO						NO
	Carbon Capture and Storage CERs															
7	Subject to net reversal of storage			NO							NO	NO	NO	NO		
8	Subject to non-submission of certification report			NO							NO	NO	NO	NO		
	Total	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 4. Total quantities of Kyoto Protocol units by account type at end of reported year

	Account type	Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Party holding accounts	3.592.699.888	NO	NO	4.269.200	NO	NO
2	Entity holding accounts	NO	28.412	NO	8.793.527	NO	NO
3	Retirement account	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Previous period surplus reserve account	NO					
5	Article 3.3/3.4 net source cancellation accounts	NO	NO	NO	NO		
6	Non-compliance cancellation account	NO	NO	NO	NO		
7	Voluntary cancellation account	NO	NO	NO	12.317.018	NO	NO
8	Cancellation account for remaining units after carry-over	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9	Article 3.1 ter and quater ambition increase cancellation account	NO					
10	Article 3.7 ter cancellation account	NO					
11	tCER cancellation account for expiry					NO	
12	lCER cancellation account for expiry						NO
13	lCER cancellation account for reversal of storage						NO
14	lCER cancellation account for non-submission of certification report						NO
15	tCER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO	NO	
16	lCER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO		
17	lCER replacement account for reversal of storage	NO	NO	NO	NO		NO
18	lCER replacement account for non-submission of certification report	NO	NO	NO	NO		NO
	Total	3.592.699.888	28.412	NO	25.379.745	NO	NO

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 5 (a). Summary information on additions and subtractions

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Assigned amount units issued	3.592.699.888											
2	Article 3 paragraph 7 ter cancellations							NO					
3	Cancellation following increase in ambition							NO					
4	Cancellation of remaining units after carry over							NO	NO	NO	NO	NO	NO
5	Non-compliance cancellation							NO	NO	NO	NO		
6	Carry-over		NO		NO				NO		NO		
7	Carry-over to PPSR	NO						NO					
	Total	3.592.699.888	NO		NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO

Table 5 (b). Summary information on annual transactions

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Year 1 (2013)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	Year 2 (2014)	NO	NO	NO	1.761.325	NO	NO	NO	NO	NO	151.074	NO	NO
3	Year 3 (2015)	NO	NO	NO	4.556.137	NO	NO	NO	NO	NO	5.639.465	NO	NO
4	Year 4 (2016)	NO	NO	NO	2.367.730	NO	NO	NO	NO	NO	2.351.699	NO	NO
5	Year 5 (2017)	NO	28.999	NO	3.763.731	NO	NO	NO	NO	NO	2.737.210	NO	NO
6	Year 6 (2018)	NO	1	NO	7.368.752	NO	NO	NO	NO	NO	4.784.889	NO	NO
7	Year 7 (2019)	NO	1.612	NO	12.538.235	NO	NO	NO	NO	NO	10.316.344	NO	NO
8	Year 8 (2020)	NO	NO	NO	17.953.086	NO	NO	NO	NO	NO	18.356.815	NO	NO
9	Year 2021	NO	NO	NO	23.413.273	NO	NO	NO	2.200	NO	16.322.046	NO	NO
10	Year 2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
11	Year 2023	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Total	NO	30.612	NO	73.722.269	NO	NO	NO	2.200	NO	60.659.542	NO	NO

Table 5 (c). Summary information on annual transactions between PPSR accounts

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Year 1 (2013)	NO						NO					
2	Year 2 (2014)	NO						NO					
3	Year 3 (2015)	NO						NO					
4	Year 4 (2016)	NO						NO					
5	Year 5 (2017)	NO						NO					
6	Year 6 (2018)	NO						NO					
7	Year 7 (2019)	NO						NO					
8	Year 8 (2020)	NO						NO					
9	Year 2021	NO						NO					
10	Year 2022	NO						NO					
11	Year 2023	NO						NO					
	Total	NO						NO					

Table 5 (d). Summary information on expiry, cancellation and replacement

		Requirement to replace or cancel			Replacement						Cancellation					
		Unit type			Unit type						Unit type					
		tCERs	lCERs	CERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Year 1 (2013)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	Year 2 (2014)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	Year 3 (2015)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Year 4 (2016)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5	Year 5 (2017)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6	Year 6 (2018)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7	Year 7 (2019)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8	Year 8 (2020)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9	Year 2021	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
10	Year 2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
11	Year 2023	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Total	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Table 5 (e). Summary information on retirement

		Retirement					
		Unit type					
	Year	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs
1	Year 1 (2013)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	Year 2 (2014)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	Year 3 (2015)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Year 4 (2016)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5	Year 5 (2017)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6	Year 6 (2018)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7	Year 7 (2019)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8	Year 8 (2020)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9	Year 2021	NO	NO	NO	NO	NO	NO
10	Year 2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO
11	Year 2023	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Total	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Party	Germany
Submission year	2022
Reported year	2021
Commitment period	2

Table 6 (a). Memo item: Corrective transactions relating to additions and subtractions

	Additions						Subtractions					
	Unit type						Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs

Table 6 (b). Memo item: Corrective transactions relating to replacement

	Requirement for replacement		Replacement					
	Unit type		Unit type					
	tCERs	lCERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs

Table 6 (c). Memo item: Corrective transactions relating to retirement

	Retirement					
	Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	lCERs

22.2.2.2 Discrepant transactions

No discrepant transactions occurred in 2021.

22.2.3 Detailliertere Informationen über das nationale System und Änderungen im nationalen System

Alle Informationen wurden in den vorangegangenen Kapiteln gegeben.

22.2.4 Weitere detaillierte Informationen zu den Nationalen Registern und der Buchführung der Kyoto-Einheiten

The required documents are confidential and accessible for assessors only.

22.3 Zusatzinformationen zu den Trends der Treibhausgase

Hier finden sie die detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion der Kapitel 0.2 und 2.

Tabelle 580: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

THG Emissionen/Senken, CO_2-äquivalent (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**1.051.979**	**1.013.824**	**965.542**	**955.820**	**939.492**	**938.614**	**958.700**	**930.870**	**922.812**	**895.352**	**899.352**	**916.144**	**899.450**	**900.628**	**886.637**
Net CO_2 emissions/removals	1.076.570	980.147	925.747	916.569	905.828	911.628	928.195	900.956	893.700	862.890	887.392	895.674	912.355	909.298	891.763
CH_4 (mit LULUCF)	**118.555**	**112.965**	**109.571**	**110.368**	**106.615**	**104.350**	**101.812**	**97.433**	**92.585**	**91.717**	**87.798**	**84.298**	**80.305**	**76.954**	**71.989**
CH_4(ohne LULUCF)	119.996	114.403	111.026	111.808	108.053	105.785	103.250	98.867	94.018	93.150	89.232	85.756	81.791	78.476	73.543
N_2O(mit LULUCF)	**57.989**	**56.342**	**58.034**	**55.169**	**57.079**	**55.250**	**56.762**	**53.827**	**40.978**	**37.054**	**36.483**	**38.530**	**37.767**	**37.496**	**39.154**
N_2O(ohne LULUCF)	58.960	57.326	59.025	56.146	58.050	56.211	57.721	54.780	41.926	37.993	37.419	39.763	39.032	38.789	40.475
F-Gasse Summe	**13.395**	**12.835**	**13.307**	**16.094**	**16.496**	**17.092**	**16.089**	**16.284**	**16.803**	**15.077**	**13.293**	**14.027**	**14.151**	**13.548**	**13.988**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**1.241.919**	**1.195.966**	**1.146.454**	**1.137.451**	**1.119.682**	**1.115.305**	**1.133.363**	**1.098.413**	**1.073.178**	**1.039.200**	**1.036.926**	**1.052.999**	**1.031.673**	**1.028.626**	**1.011.769**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	1.268.922	1.164.710	1.109.105	1.100.617	1.088.427	1.090.716	1.105.255	1.070.886	1.046.448	1.009.111	1.027.337	1.035.220	1.047.329	1.040.111	1.019.768

THG Emissionen/Senken, CO_2-äquivalent (kt)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**866.303**	**877.939**	**851.223**	**854.508**	**789.900**	**832.541**	**808.912**	**813.693**	**831.208**	**792.255**	**795.557**	**800.340**	**785.616**	**754.408**	**707.150**
Net CO_2 emissions/removals	867.709	871.894	848.510	839.901	767.094	814.811	789.854	784.512	804.688	766.386	771.823	774.608	760.212	730.929	688.886
CH_4 (mit LULUCF)	**68.701**	**64.914**	**62.899**	**61.777**	**59.335**	**58.140**	**57.051**	**57.597**	**56.966**	**55.847**	**55.627**	**54.366**	**53.798**	**52.007**	**49.944**
CH_4(ohne LULUCF)	70.292	66.532	64.543	63.450	61.037	59.867	58.792	59.355	58.741	57.639	57.438	56.186	55.629	53.953	51.814
N_2O(mit LULUCF)	**37.522**	**36.769**	**39.709**	**38.418**	**38.817**	**30.841**	**30.855**	**31.001**	**31.172**	**31.705**	**31.655**	**31.521**	**31.028**	**29.716**	**28.948**
N_2O(ohne LULUCF)	38.873	38.021	40.969	39.695	40.110	32.150	32.195	32.376	32.582	33.152	33.142	32.967	32.489	31.199	30.450
F-Gasse Summe	**14.184**	**14.117**	**14.209**	**14.232**	**14.689**	**14.246**	**14.426**	**14.609**	**14.642**	**14.657**	**15.116**	**15.215**	**15.288**	**14.411**	**13.692**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**986.709**	**993.739**	**968.040**	**968.935**	**902.742**	**935.768**	**911.244**	**916.901**	**933.987**	**894.465**	**897.954**	**901.442**	**885.729**	**850.542**	**799.734**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	991.058	990.565	968.231	957.277	882.931	921.074	895.267	890.853	910.653	871.834	877.519	878.975	863.618	830.492	784.842

THG Emissionen/Senken, CO_2-äquivalent (kt)	2020
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**639.381**
Net CO_2 emissions/removals	624.731
CH_4 (mit LULUCF)	**49.015**
CH_4(ohne LULUCF)	50.889
N_2O(mit LULUCF)	**28.182**
N_2O(ohne LULUCF)	29.694
F-Gasse Summe	**12.159**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**728.738**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	717.473

THG Emissionen/Senken, nach Quell- und Senkengruppen, CO_2-äquivalent (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1. Energie	**1.036.444**	**999.444**	**950.536**	**941.487**	**919.035**	**917.379**	**938.271**	**906.869**	**897.143**	**872.657**	**869.647**	**890.067**	**873.670**	**868.846**	**852.116**
2. Industrieprozesse	**96.891**	**93.168**	**93.393**	**94.580**	**100.355**	**98.600**	**96.661**	**96.933**	**83.088**	**75.009**	**77.895**	**74.533**	**73.115**	**76.980**	**78.882**
3. Landwirtschaft	**70.581**	**63.953**	**62.532**	**61.558**	**61.253**	**61.252**	**61.798**	**60.910**	**61.373**	**61.589**	**60.997**	**61.673**	**59.542**	**58.961**	**58.233**
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	**27.003**	**-31.256**	**-37.350**	**-36.834**	**-31.255**	**-24.590**	**-28.108**	**-27.527**	**-26.730**	**-30.090**	**-9.589**	**-17.780**	**15.656**	**11.485**	**7.999**
CO_2	24.591	-33.677	-39.795	-39.251	-33.664	-26.986	-30.505	-29.914	-29.112	-32.462	-11.959	-20.471	12.905	8.670	5.126
N_2O & CH_4	2.412	2.422	2.445	2.417	2.410	2.396	2.397	2.387	2.382	2.373	2.370	2.691	2.751	2.815	2.874
5. Abfall	**38.003**	**39.402**	**39.994**	**39.827**	**39.040**	**38.074**	**36.633**	**33.701**	**31.574**	**29.944**	**28.388**	**26.727**	**25.345**	**23.839**	**22.538**

THG Emissionen/Senken, nach Quell- und Senkengruppen, CO_2-äquivalent (kt)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1. Energie	**831.839**	**841.629**	**815.512**	**821.054**	**763.153**	**800.987**	**777.237**	**783.914**	**801.247**	**761.165**	**766.393**	**768.977**	**750.503**	**720.389**	**673.836**
2. Industrieprozesse	**75.602**	**75.767**	**76.938**	**73.193**	**65.758**	**62.559**	**62.485**	**61.569**	**61.319**	**61.194**	**60.229**	**62.076**	**65.933**	**62.967**	**59.790**
3. Landwirtschaft	**58.081**	**56.994**	**57.549**	**57.877**	**58.243**	**57.761**	**57.844**	**58.511**	**59.271**	**60.547**	**60.388**	**59.993**	**59.311**	**57.634**	**56.912**
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	**4.348**	**-3.174**	**192**	**-11.658**	**-19.811**	**-14.694**	**-15.976**	**-26.048**	**-23.334**	**-22.631**	**-20.435**	**-22.467**	**-22.111**	**-20.050**	**-14.892**
CO_2	1.406	-6.045	-2.713	-14.607	-22.806	-17.730	-19.058	-29.181	-26.520	-25.870	-23.733	-25.732	-25.404	-23.479	-18.264
N_2O & CH_4	2.942	2.871	2.905	2.950	2.994	3.036	3.081	3.133	3.185	3.239	3.298	3.266	3.293	3.430	3.372
5. Abfall	**21.188**	**19.349**	**18.041**	**16.811**	**15.589**	**14.461**	**13.677**	**12.907**	**12.150**	**11.558**	**10.943**	**10.396**	**9.982**	**9.552**	**9.196**

THG Emissionen/Senken, nach Quell- und Senkengruppen, CO_2-äquivalent (kt)	2020
1. Energie	**608.399**
2. Industrieprozesse	**55.473**
3. Landwirtschaft	**56.095**
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	**-11.265**
CO_2	-14.650
N_2O & CH_4	3.385
5. Abfall	**8.770**

Tabelle 581: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

THG Emissionen /Senken, Anteile Treibhausgase* (%)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CO_2 –Emissionen*	84,71	84,77	84,22	84,03	83,91	84,16	84,59	84,75	85,99	86,16	86,73	87,00	87,18	87,56	87,63	87,80	88,35	87,93	88,19	87,50	88,97	88,77	88,74	89,00	88,57	88,60	88,78	88,70	88,70	88,42	87,74
CH_4*	9,55	9,45	9,56	9,70	9,52	9,36	8,98	8,87	8,63	8,83	8,47	8,01	7,78	7,48	7,12	6,96	6,53	6,50	6,38	6,57	6,21	6,26	6,28	6,10	6,24	6,19	6,03	6,07	6,11	6,25	6,73
N_2O*	4,67	4,71	5,06	4,85	5,10	4,95	5,01	4,90	3,82	3,57	3,52	3,66	3,66	3,65	3,87	3,80	3,70	4,10	3,96	4,30	3,30	3,39	3,38	3,34	3,54	3,53	3,50	3,50	3,49	3,62	3,87
F-Gase Summe	1,08	1,07	1,16	1,41	1,47	1,53	1,42	1,48	1,57	1,45	1,28	1,33	1,37	1,32	1,38	1,44	1,42	1,47	1,47	1,63	1,52	1,58	1,59	1,57	1,64	1,68	1,69	1,73	1,69	1,71	1,67
Summe	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

THG Emissionen /Senken, Anteile Kategorien* (%)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Energie	83,46	83,57	82,91	82,77	82,08	82,25	82,79	82,56	83,60	83,97	83,87	84,53	84,68	84,47	84,22	84,30	84,69	84,24	84,74	84,54	85,60	85,29	85,50	85,79	85,10	85,35	85,31	84,73	84,70	84,26	83,49
2. Industrieprozesse	7,80	7,79	8,15	8,32	8,96	8,84	8,53	8,82	7,74	7,22	7,51	7,08	7,09	7,48	7,80	7,66	7,62	7,95	7,55	7,28	6,69	6,86	6,71	6,57	6,84	6,71	6,89	7,44	7,40	7,48	7,61
4. Landwirtschaft	5,68	5,35	5,45	5,41	5,47	5,49	5,45	5,55	5,72	5,93	5,88	5,86	5,77	5,73	5,76	5,89	5,74	5,94	5,97	6,45	6,17	6,35	6,38	6,35	6,77	6,73	6,66	6,70	6,78	7,12	7,70
5. Abfall	3,06	3,29	3,49	3,50	3,49	3,41	3,23	3,07	2,94	2,88	2,74	2,54	2,46	2,32	2,23	2,15	1,95	1,86	1,73	1,73	1,55	1,50	1,41	1,30	1,29	1,22	1,15	1,13	1,12	1,15	1,20
Summe	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

* ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Tabelle 582: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO_2 in Deutschland seit 1990

Emissionsentwicklung (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**1.051.979**	**1.013.824**	**965.542**	**955.820**	**939.492**	**938.614**	**958.700**	**930.870**	**922.812**	**895.352**	**899.352**	**916.144**	**899.450**	**900.628**	**886.637**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	1.076.570	980.147	925.747	916.569	905.828	911.628	928.195	900.956	893.700	862.890	887.392	895.674	912.355	909.298	891.763
CH_4 (ohne LULUCF)	**4.742**	**4.519**	**4.383**	**4.415**	**4.265**	**4.174**	**4.072**	**3.897**	**3.703**	**3.669**	**3.512**	**3.372**	**3.212**	**3.078**	**2.880**
CH_4(mit LULUCF)	4.800	4.576	4.441	4.472	4.322	4.231	4.130	3.955	3.761	3.726	3.569	3.430	3.272	3.139	2.942
N_2O(ohne LULUCF)	**195**	**189**	**195**	**185**	**192**	**185**	**190**	**181**	**138**	**124**	**122**	**129**	**127**	**126**	**131**
N_2O(mit LULUCF)	198	192	198	188	195	189	194	184	141	127	126	133	131	130	136
F-Gase Summe (CO_2-äquivalent)	**13.395**	**12.835**	**13.307**	**16.094**	**16.496**	**17.092**	**16.089**	**16.284**	**16.803**	**15.077**	**13.293**	**14.027**	**14.151**	**13.548**	**13.988**
NO_X	**2.839**	**2.618**	**2.472**	**2.371**	**2.244**	**2.186**	**2.104**	**2.031**	**2.003**	**1.969**	**1.893**	**1.837**	**1.775**	**1.729**	**1.682**
SO_2	**5.460**	**3.964**	**3.237**	**2.902**	**2.416**	**1.742**	**1.476**	**1.225**	**977**	**798**	**643**	**622**	**559**	**531**	**491**
NMVOC	**3.892**	**3.380**	**3.067**	**2.884**	**2.469**	**2.342**	**2.244**	**2.190**	**2.133**	**1.971**	**1.806**	**1.711**	**1.619**	**1.538**	**1.535**
CO	**13.081**	**10.840**	**9.345**	**8.454**	**7.451**	**7.100**	**6.542**	**6.313**	**5.810**	**5.407**	**5.084**	**4.892**	**4.597**	**4.273**	**4.061**
Emissionsentwicklung (kt)	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**866.303**	**877.939**	**851.223**	**854.508**	**789.900**	**832.541**	**808.912**	**813.693**	**831.208**	**792.255**	**795.557**	**800.340**	**785.616**	**754.408**	**707.150**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	867.709	871.894	848.510	839.901	767.094	814.811	789.854	784.512	804.688	766.386	771.823	774.608	760.212	730.929	688.886
CH_4 (ohne LULUCF)	**2.748**	**2.597**	**2.516**	**2.471**	**2.373**	**2.326**	**2.282**	**2.304**	**2.279**	**2.234**	**2.225**	**2.175**	**2.152**	**2.080**	**1.998**
CH_4(mit LULUCF)	2.812	2.661	2.582	2.538	2.441	2.395	2.352	2.374	2.350	2.306	2.298	2.247	2.225	2.158	2.073
N_2O(ohne LULUCF)	**126**	**123**	**133**	**129**	**130**	**103**	**104**	**104**	**105**	**106**	**106**	**106**	**104**	**100**	**97**
N_2O(mit LULUCF)	130	128	137	133	135	108	108	109	109	111	111	111	109	105	102
F-Gase Summe (CO_2-äquivalent)	**14.184**	**14.117**	**14.209**	**14.232**	**14.689**	**14.246**	**14.426**	**14.609**	**14.642**	**14.657**	**15.116**	**15.215**	**15.288**	**14.411**	**13.692**
NO_X	**1.632**	**1.641**	**1.591**	**1.528**	**1.433**	**1.445**	**1.419**	**1.411**	**1.410**	**1.365**	**1.342**	**1.315**	**1.264**	**1.179**	**1.106**
SO_2	**473**	**474**	**457**	**450**	**392**	**403**	**387**	**368**	**357**	**335**	**334**	**309**	**301**	**289**	**259**
NMVOC	**1.487**	**1.484**	**1.421**	**1.359**	**1.245**	**1.362**	**1.272**	**1.257**	**1.212**	**1.174**	**1.147**	**1.141**	**1.145**	**1.099**	**1.072**
CO	**3.837**	**3.809**	**3.770**	**3.748**	**3.207**	**3.513**	**3.429**	**3.175**	**3.134**	**2.965**	**3.069**	**2.946**	**2.961**	**2.852**	**2.753**
Emissionsentwicklung (kt)	**2020**														
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**639.381**														
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	624.731														
CH_4 (ohne LULUCF)	**1.961**														
CH_4(mit LULUCF)	2.036														
N_2O(ohne LULUCF)	**95**														
N_2O(mit LULUCF)	100														
F-Gase Summe (CO_2-äquivalent)	**12.159**														
NO_X	**978**														
SO_2	**233**														
NMVOC	**1.036**														
CO	**2.455**														

Tabelle 583: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland seit 1990/1995

Emissionsentwicklung Trend gegenüber 1990/1995 (%)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)		**-3,6**	**-8,2**	**-9,1**	**-10,7**	**-10,8**	**-8,9**	**-11,5**	**-12,3**	**-14,9**	**-14,5**	**-12,9**	**-14,5**	**-14,4**	**-15,7**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen		-9,0	-14,0	-14,9	-15,9	-15,3	-13,8	-16,3	-17,0	-19,8	-17,6	-16,8	-15,3	-15,5	-17,2
CH_4(ohne LULUCF)		**-4,7**	**-7,6**	**-6,9**	**-10,1**	**-12,0**	**-14,1**	**-17,8**	**-21,9**	**-22,6**	**-25,9**	**-28,9**	**-32,3**	**-35,1**	**-39,3**
N_2O(ohne LULUCF)		**-2,8**	**+0,1**	**-4,9**	**-1,6**	**-4,7**	**-2,1**	**-7,2**	**-29,3**	**-36,1**	**-37,1**	**-33,6**	**-34,9**	**-35,3**	**-32,5**
F-Gase Summe							**-5,9**	**-4,7**	**-1,7**	**-11,8**	**-22,2**	**-17,9**	**-17,2**	**-20,7**	**-18,2**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF		**-3,7**	**-7,7**	**-8,4**	**-9,8**	**-10,2**	**-8,7**	**-11,6**	**-13,6**	**-16,3**	**-16,5**	**-15,2**	**-16,9**	**-17,2**	**-18,5**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF		-8,2	-12,6	-13,3	-14,2	-14,0	-12,9	-15,6	-17,5	-20,5	-19,0	-18,4	-17,5	-18,0	-19,6
*Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr**		*-4,0*	*-8,0*	*-8,7*	*-10,1*	*-10,5*	*-9,0*	*-11,8*	*-13,8*	*-16,6*	*-16,8*	*-15,5*	*-17,2*	*-17,4*	*-18,8*
NO_X		**-7,8**	**-12,9**	**-16,5**	**-21,0**	**-23,0**	**-25,9**	**-28,5**	**-29,4**	**-30,6**	**-33,3**	**-35,3**	**-37,5**	**-39,1**	**-40,8**
SO_2		**-27,4**	**-40,7**	**-46,9**	**-55,7**	**-68,1**	**-73,0**	**-77,6**	**-82,1**	**-85,4**	**-88,2**	**-88,6**	**-89,8**	**-90,3**	**-91,0**
NMVOC		**-13,1**	**-21,2**	**-25,9**	**-36,6**	**-39,8**	**-42,3**	**-43,7**	**-45,2**	**-49,4**	**-53,6**	**-56,0**	**-58,4**	**-60,5**	**-60,6**
CO		**-17,1**	**-28,6**	**-35,4**	**-43,0**	**-45,7**	**-50,0**	**-51,7**	**-55,6**	**-58,7**	**-61,1**	**-62,6**	**-64,9**	**-67,3**	**-69,0**

Emissionsentwicklung Trend gegenüber 1990/1995 (%)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**-17,7**	**-16,5**	**-19,1**	**-18,8**	**-24,9**	**-20,9**	**-23,1**	**-22,7**	**-21,0**	**-24,7**	**-24,4**	**-23,9**	**-25,3**	**-28,3**	**-32,8**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-19,4	-19,0	-21,2	-22,0	-28,7	-24,3	-26,6	-27,1	-25,3	-28,8	-28,3	-28,0	-29,4	-32,1	-36,0
CH_4(ohne LULUCF)	**-42,1**	**-45,2**	**-46,9**	**-47,9**	**-50,0**	**-51,0**	**-51,9**	**-51,4**	**-51,9**	**-52,9**	**-53,1**	**-54,1**	**-54,6**	**-56,1**	**-57,9**
N_2O(ohne LULUCF)	**-35,3**	**-36,6**	**-31,5**	**-33,7**	**-33,1**	**-46,8**	**-46,8**	**-46,5**	**-46,2**	**-45,3**	**-45,4**	**-45,6**	**-46,5**	**-48,8**	**-50,1**
F-Gase Summe	**-17,0**	**-17,4**	**-16,9**	**-16,7**	**-14,1**	**-16,6**	**-15,6**	**-14,5**	**-14,3**	**-14,2**	**-11,6**	**-11,0**	**-10,6**	**-15,7**	**-19,9**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-20,5**	**-20,0**	**-22,1**	**-22,0**	**-27,3**	**-24,7**	**-26,6**	**-26,2**	**-24,8**	**-28,0**	**-27,7**	**-27,4**	**-28,7**	**-31,5**	**-35,6**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-21,9	-21,9	-23,7	-24,6	-30,4	-27,4	-29,4	-29,8	-28,2	-31,3	-30,8	-30,7	-31,9	-34,6	-38,1
*Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr**	*-20,8*	*-20,2*	*-22,3*	*-22,2*	*-27,5*	*-24,9*	*-26,8*	*-26,4*	*-25,0*	*-28,2*	*-27,9*	*-27,6*	*-28,9*	*-31,7*	*-35,8*
NO_X	**-42,5**	**-42,2**	**-44,0**	**-46,2**	**-49,5**	**-49,1**	**-50,0**	**-50,3**	**-50,3**	**-51,9**	**-52,7**	**-53,7**	**-55,5**	**-58,5**	**-61,1**
SO_2	**-91,3**	**-91,3**	**-91,6**	**-91,8**	**-92,8**	**-92,6**	**-92,9**	**-93,3**	**-93,5**	**-93,9**	**-93,9**	**-94,3**	**-94,5**	**-94,7**	**-95,2**
NMVOC	**-61,8**	**-61,9**	**-63,5**	**-65,1**	**-68,0**	**-65,0**	**-67,3**	**-67,7**	**-68,9**	**-69,8**	**-70,5**	**-70,7**	**-70,6**	**-71,8**	**-72,5**
CO	**-70,7**	**-70,9**	**-71,2**	**-71,3**	**-75,5**	**-73,1**	**-73,8**	**-75,7**	**-76,0**	**-77,3**	**-76,5**	**-77,5**	**-77,4**	**-78,2**	**-79,0**

Emissionsentwicklung Trend gegenüber 1990/1995 (%)	2020
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**-39,2**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-42,0
CH_4(ohne LULUCF)	**-58,7**
N_2O(ohne LULUCF)	**-51,4**
F-Gase Summe	**-28,9**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-41,3**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-43,5
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr*	*-41,5*
NO_X	**-65,6**
SO_2	**-95,7**
NMVOC	**-73,4**
CO	**-81,2**

* Basisjahr für CO_2, CH_4 & N_2O ist das Jahr 1990, für HFC, PFC, SF_6 & NF_3 das Jahr 1995

Tabelle 584: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland, seit dem jeweils letzten Jahr

Emissionsentwicklung Trend gegenüber dem jeweils letzten Jahr (%)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)		**-3,6**	**-4,8**	**-1,0**	**-1,7**	**-0,1**	**+2,1**	**-2,9**	**-0,9**	**-3,0**	**+0,4**	**+1,9**	**-1,8**	**+0,1**	**-1,6**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen		-9,0	-5,6	-1,0	-1,2	+0,6	+1,8	-2,9	-0,8	-3,4	+2,8	+0,9	+1,9	-0,3	-1,9
CH_4(ohne LULUCF)		**-4,7**	**-3,0**	**+0,7**	**-3,4**	**-2,1**	**-2,4**	**-4,3**	**-5,0**	**-0,9**	**-4,3**	**-4,0**	**-4,7**	**-4,2**	**-6,5**
N_2O(ohne LULUCF)		**-2,8**	**+3,0**	**-4,9**	**+3,5**	**-3,2**	**+2,7**	**-5,2**	**-23,9**	**-9,6**	**-1,5**	**+5,6**	**-2,0**	**-0,7**	**+4,4**
F-Gase Summe							**-5,9**	**+1,2**	**+3,2**	**-10,3**	**-11,8**	**+5,5**	**+0,9**	**-4,3**	**+3,2**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF		**-3,7**	**-4,1**	**-0,8**	**-1,6**	**-0,4**	**+1,6**	**-3,1**	**-2,3**	**-3,2**	**-0,2**	**+1,6**	**-2,0**	**-0,3**	**-1,6**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF		-8,2	-4,8	-0,8	-1,1	+0,2	+1,3	-3,1	-2,3	-3,6	+1,8	+0,8	+1,2	-0,7	-2,0
NO_X		**-7,8**	**-5,6**	**-4,1**	**-5,4**	**-2,6**	**-3,8**	**-3,5**	**-1,4**	**-1,7**	**-3,9**	**-3,0**	**-3,4**	**-2,6**	**-2,7**
SO_2		**-27,4**	**-18,3**	**-10,3**	**-16,7**	**-27,9**	**-15,3**	**-17,0**	**-20,2**	**-18,4**	**-19,4**	**-3,2**	**-10,1**	**-4,9**	**-7,5**
NMVOC		**-13,1**	**-9,3**	**-5,9**	**-14,4**	**-5,2**	**-4,2**	**-2,4**	**-2,6**	**-7,6**	**-8,4**	**-5,3**	**-5,4**	**-5,0**	**-0,2**
CO		**-17,1**	**-13,8**	**-9,5**	**-11,9**	**-4,7**	**-7,9**	**-3,5**	**-8,0**	**-6,9**	**-6,0**	**-3,8**	**-6,0**	**-7,0**	**-5,0**

Emissionsentwicklung Trend gegenüber dem jeweils letzten Jahr (%)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**-2,3**	**+1,3**	**-3,0**	**+0,4**	**-7,6**	**+5,4**	**-2,8**	**+0,6**	**+2,2**	**-4,7**	**+0,4**	**+0,6**	**-1,8**	**-4,0**	**-6,3**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-2,7	+0,5	-2,7	-1,0	-8,7	+6,2	-3,1	-0,7	+2,6	-4,8	+0,7	+0,4	-1,9	-3,9	-5,8
CH_4(ohne LULUCF)	**-4,6**	**-5,5**	**-3,1**	**-1,8**	**-4,0**	**-2,0**	**-1,9**	**+1,0**	**-1,1**	**-2,0**	**-0,4**	**-2,3**	**-1,0**	**-3,3**	**-4,0**
N_2O(ohne LULUCF)	**-4,2**	**-2,0**	**+8,0**	**-3,2**	**+1,0**	**-20,5**	**+0,0**	**+0,5**	**+0,6**	**+1,7**	**-0,2**	**-0,4**	**-1,6**	**-4,2**	**-2,6**
F-Gase Summe	**+1,4**	**-0,5**	**+0,7**	**+0,2**	**+3,2**	**-3,0**	**+1,3**	**+1,3**	**+0,2**	**+0,1**	**+3,1**	**+0,7**	**+0,5**	**-5,7**	**-5,0**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-2,5**	**+0,7**	**-2,6**	**+0,1**	**-6,8**	**+3,7**	**-2,6**	**+0,6**	**+1,9**	**-4,2**	**+0,4**	**+0,4**	**-1,7**	**-4,0**	**-6,0**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-2,8	-0,0	-2,3	-1,1	-7,8	+4,3	-2,8	-0,5	+2,2	-4,3	+0,7	+0,2	-1,7	-3,8	-5,5
NO_X	**-3,0**	**+0,6**	**-3,1**	**-3,9**	**-6,2**	**+0,9**	**-1,8**	**-0,6**	**-0,1**	**-3,2**	**-1,6**	**-2,1**	**-3,9**	**-6,7**	**-6,3**
SO_2	**-3,8**	**+0,3**	**-3,7**	**-1,3**	**-12,9**	**+2,6**	**-4,0**	**-4,7**	**-3,2**	**-6,0**	**-0,4**	**-7,3**	**-2,8**	**-3,8**	**-10,4**
NMVOC	**-3,1**	**-0,2**	**-4,2**	**-4,4**	**-8,4**	**+9,3**	**-6,5**	**-1,2**	**-3,5**	**-3,2**	**-2,2**	**-0,6**	**+0,4**	**-4,1**	**-2,4**
CO	**-5,5**	**-0,7**	**-1,0**	**-0,6**	**-14,4**	**+9,5**	**-2,4**	**-7,4**	**-1,3**	**-5,4**	**+3,5**	**-4,0**	**+0,5**	**-3,7**	**-3,5**

Emissionsentwicklung Trend gegenüber dem jeweils letzten Jahr (%)	2020
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**-9,6**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-9,3
CH_4(ohne LULUCF)	**-1,9**
N_2O(ohne LULUCF)	**-2,6**
F-Gase Summe	**-11,2**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-8,9**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-8,6
NO_X	**-11,6**
SO_2	**-10,4**
NMVOC	**-3,4**
CO	**-10,8**

Tabelle 585: Veränderungen der Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr

Emissionsentwicklung gegenüber 1990, Veränderung in %	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1. Energie		-3,6%	-8,3%	-9,2%	-11,3%	-11,5%	-9,5%	-12,5%	-13,4%	-15,8%	-16,1%	-14,1%	-15,7%	-16,2%	-17,8%	-19,7%	-18,8%	-21,3%	-20,8%	-26,4%
2. Industrieprozesse		-3,8%	-3,6%	-2,4%	3,6%	1,8%	-0,2%	0,0%	-14,2%	-22,6%	-19,6%	-23,1%	-24,5%	-20,6%	-18,6%	-22,0%	-21,8%	-20,6%	-24,5%	-32,1%
3. Landwirtschaft		-9,4%	-11,4%	-12,8%	-13,2%	-13,2%	-12,4%	-13,7%	-13,0%	-12,7%	-13,6%	-12,6%	-15,6%	-16,5%	-17,5%	-17,7%	-19,3%	-18,5%	-18,0%	-17,5%
5. Abfall		3,7%	5,2%	4,8%	2,7%	0,2%	-3,6%	-11,3%	-16,9%	-21,2%	-25,3%	-29,7%	-33,3%	-37,3%	-40,7%	-44,2%	-49,1%	-52,5%	-55,8%	-59,0%

Emissionsentwicklung gegenüber 1990, Veränderung in %	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Energie	-22,7%	-25,0%	-24,4%	-22,7%	-26,6%	-26,1%	-25,8%	-27,6%	-30,5%	-35,0%	-41,3%
2. Industrieprozesse	-35,4%	-35,5%	-36,5%	-36,7%	-36,8%	-37,8%	-35,9%	-32,0%	-35,0%	-38,3%	-42,7%
3. Landwirtschaft	-18,2%	-18,0%	-17,1%	-16,0%	-14,2%	-14,4%	-15,0%	-16,0%	-18,3%	-19,4%	-20,5%
5. Abfall	-61,9%	-64,0%	-66,0%	-68,0%	-69,6%	-71,2%	-72,6%	-73,7%	-74,9%	-75,8%	-76,9%

Emissionsentwicklung, gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1. Energie		-3,6%	-4,9%	-1,0%	-2,4%	-0,2%	2,3%	-3,3%	-1,1%	-2,7%	-0,3%	2,3%	-1,8%	-0,6%	-1,9%	-2,4%	1,2%	-3,1%	0,7%	-7,1%
2. Industrieprozesse		-3,8%	0,2%	1,3%	6,1%	-1,7%	-2,0%	0,3%	-14,3%	-9,7%	3,8%	-4,3%	-1,9%	5,3%	2,5%	-4,2%	0,2%	1,5%	-4,9%	-10,2%
3. Landwirtschaft		-9,4%	-2,2%	-1,6%	-0,5%	0,0%	0,9%	-1,4%	0,8%	0,4%	-1,0%	1,1%	-3,5%	-1,0%	-1,2%	-0,3%	-1,9%	1,0%	0,6%	0,6%
5. Abfall		3,7%	1,5%	-0,4%	-2,0%	-2,5%	-3,8%	-8,0%	-6,3%	-5,2%	-5,2%	-5,8%	-5,2%	-5,9%	-5,5%	-6,0%	-8,7%	-6,8%	-6,8%	-7,3%

Emissionsentwicklung, gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Energie	5,0%	-3,0%	0,9%	2,2%	-5,0%	0,7%	0,3%	-2,4%	-4,0%	-6,5%	-9,7%
2. Industrieprozesse	-4,9%	-0,1%	-1,5%	-0,4%	-0,2%	-1,6%	3,1%	6,2%	-4,5%	-5,0%	-7,2%
3. Landwirtschaft	-0,8%	0,1%	1,2%	1,3%	2,2%	-0,3%	-0,7%	-1,1%	-2,8%	-1,3%	-1,4%
5. Abfall	-7,2%	-5,4%	-5,6%	-5,9%	-4,9%	-5,3%	-5,0%	-4,0%	-4,3%	-3,7%	-4,6%

22.4 Rückrechnungen: detaillierte Betrachtung auf Grundlage von CRF Table 8

Die folgenden Tabellen geben einen numerischen Überblick über die revidierten Emissionsangaben für die Jahre 1990 und 2019 gemäß CRF-Tabellen 8s1 bis 8s4 der aktuellen CRF-Submission. Die Erläuterungen zu den abgebildeten Rekalkulationen entnehmen Sie bitte Kapitel 10.1 dieses Berichtes sowie den jeweiligen kategoriespezifischen Kapiteln.

22.4.1 Überblick für das Berichtsjahr 1990

Tabelle 586: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**1.074.783,44**	**1.076.569,85**	**1.786,41**	**0,166**	**0,144**	**0,141**
1. Energie	**989.590,09**	**989.092,98**	**-497,11**	**-0,050**	**-0,040**	**-0,039**
A. Verbrennung von Energieträgern	985.749,63	985.252,52	-497,11	-0,050	-0,040	-0,039
1. Energieerzeugung	423.905,78	423.905,78	0,00	0,000	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	185.165,00	185.165,00	0,00	0,000	0,000	0,000
3. Verkehr	161.927,06	161.503,89	-423,17	-0,261	-0,034	-0,033
4. Übrige Sektoren	202.954,29	202.924,95	-29,34	-0,014	-0,002	-0,002
5. Sonstige	11.797,50	11.752,90	-44,60	-0,378	-0,004	-0,004
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	3.840,46	3.840,46	0,00	0,000	0,000	0,000
1. Festbrennstoffe	1.832,80	1.832,80	0,00	0,000	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	2.007,65	2.007,65	0,00	0,000	0,000	0,000
C. Transport und Lagerung von CO_2	NO	NA				
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**59.694,71**	**59.694,09**	**-0,62**	**-0,001**	**0,0000**	**0,0000**
A. Mineralische Industrie	23.522,38	23.522,38	0,00	0,000	0,000	0,000
B. Chemische Industrie	8.109,38	8.109,38	0,00	0,000	0,000	0,000
C. Metallerzeugung	25.079,88	25.079,88	0,00	0,000	0,000	0,000
D. nichtenerget. Brennstoffnutzung und Einsatz v. Lösemitteln	2.983,07	2.982,45	-0,62	-0,021	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	**3.192,03**	**3.192,03**	**0,00**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
G. Kalkung	2.200,53	2.200,53	0,00	0,000	0,000	0,000
H. Harnstoffeinsatz	481,05	481,05	0,00	0,000	0,000	0,000
I. Sonstige C-haltige Dünger	510,45	510,45	0,00	0,000	0,000	0,000
J. Übrige	NO,NA	NO,NA				
4. Landnutzung, Landnutzungsänderung, Forstw.	**22.306,60**	**24.590,75**	**2.284,15**	**10,240**		**0,180**
A. Forste / Wälder	-22.065,98	-19.707,07	2.358,91	-10,690		0,186
B. Ackerland	13.511,10	13.762,36	251,26	1,860		0,020
C. Grasland	26.094,43	26.383,49	289,06	1,108		0,023
D. Feuchtgebiete	3.668,32	3.705,75	37,43	1,020		0,003
E. Siedlungen	2.429,08	1.776,57	-652,51	-26,862		-0,051
F. Übrige Flächen	NO	NO				
G. Holzernteprodukte	-1.330,35	-1.330,35	0,00	0,000		0,000
H . Sonstige	NO,IE,NA	NO,IE,NA				
5. Abfall & Abwasser	**NO,NE,NA**	**NO,NE,NA**				
6. Sonstige	**NA**	**NA**				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**18.326,09**	**19.032,74**	**706,65**	**3,856**	**0,057**	**0,056**
Internationaler Flugverkehr	11.920,74	11.922,23	1,49	0,012	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	6.405,35	7.110,51	705,16	11,009	0,057	0,056
Multilaterale Operationen	IE,NE	NE				
CO_2 aus Biomasse	22.101,38	22.101,38	0,00	0,000	0,000	0,000

Tabelle 587: revidierte Methan-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**119.467,24**	**119.996,41**	**529,17**	**0,44**	**0,043**	**0,042**
1. Energie	**40.426,61**	**40.382,00**	**-44,61**	**-0,11**	**-0,004**	**-0,004**
A. Verbrennung von Energieträgern	6.572,74	6.587,64	14,90	0,23	0,001	0,001
1. Energieerzeugung	280,21	280,21	0,00	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	251,63	251,63	0,00	0,00	0,000	0,000
3. Verkehr	1.573,97	1.588,62	14,65	0,93	0,001	0,001
4. Übrige Sektoren	4.187,49	4.187,75	0,26	0,01	0,000	0,000
5. Sonstige	279,43	279,42	-0,01	0,00	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	33.853,87	33.794,37	-59,51	-0,18	-0,005	-0,005
1. Festbrennstoffe	25.553,44	25.553,44	0,00	0,00	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	8.300,44	8.240,93	-59,51	-0,72	-0,005	-0,005
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**351,46**	**410,97**	**59,51**	**16,93**	**0,005**	**0,005**
3. Landwirtschaft	**40.231,34**	**40.964,31**	**732,97**	**1,82**	**0,059**	**0,058**
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**1.659,79**	**1.441,09**	**-218,70**	**-13,18**		**-0,017**
A. Forste / Wälder	39,43	39,47	0,04	0,10		0,000
B. Ackerland	146,13	145,74	-0,39	-0,27		0,000
C. Grasland	1.063,20	872,79	-190,41	-17,91		-0,015
D. Feuchtgebiete	363,06	335,07	-27,99	-7,71		-0,002
E. Siedlungen	47,97	48,03	0,06	0,13		0,000
5. Abfall & Abwasser	**36.798,04**	**36.798,04**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
A. Deponierung von festen Abfällen	34.200,20	34.200,20	0,00	0,00	0,000	0,000
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	25,34	25,34	0,00	0,00	0,000	0,000
D. Abwasserbehandlung	2.572,50	2.572,50	0,00	0,00	0,000	0,000
6. Sonstige	NO	NA				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	6,59	6,97	0,38	5,81	0,000	0,000
Internationaler Flugverkehr	5,02	5,00	-0,02	-0,49	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	1,56	1,97	0,41	26,03	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	IE,NE	**IE,NE**				

Tabelle 588: revidierte Lachgas-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**65.792,46**	**58.960,11**	**-6.832,35**	**-10,38**	**-0,550**	**-0,538**
1. Energie	**6.981,79**	**6.968,73**	**-13,06**	**-0,19**	**-0,001**	**-0,001**
A. Verbrennung von Energieträgern	6.979,52	6.966,37	-13,15	-0,19	-0,001	-0,001
1. Energieerzeugung	3.167,08	3.167,08	0,00	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	1.350,36	1.350,36	0,00	0,00	0,000	0,000
3. Verkehr	1.423,08	1.410,78	-12,30	-0,86	-0,001	-0,001
4. Übrige Sektoren	977,67	977,26	-0,41	-0,04	0,000	0,000
5. Sonstige	61,33	60,89	-0,44	-0,72	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	2,27	2,36	0,10	4,20	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	NO,NA	NO,NA				
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**23.391,86**	**23.390,92**	**-0,95**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
3. Landwirtschaft	**33.086,12**	**26.424,71**	**-6.661,41**	**-20,13**	**-0,536**	**-0,525**
B. Düngerwirtschaft	3.623,02	3.656,06	33,04	0,91	0,003	0,003
D. Landwirtschaftliche Böden	29.462,98	22.768,53	-6.694,45	-22,72	-0,539	-0,528
J. Übrige	0,12	0,12	0,00	0,00	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**895,25**	**970,73**	**75,48**	**8,43**		**0,006**
A. Forste / Wälder	442,62	443,53	0,91	0,21		0,000
B. Ackerland	190,82	190,82	0,00	0,00		0,000
C. Grasland	64,96	65,22	0,26	0,40		0,000
D. Feuchtgebiete	34,10	34,10	0,00	0,00		0,000
E. Siedlungen	19,30	20,36	1,07	5,53		0,000
H . Sonstige	0,00	0,00	0,00	0,00		

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
5. Abfall & Abwasser	**1.437,43**	**1.205,02**	**-232,41**	**-16,17**	**-0,019**	**-0,018**
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	15,97	15,97	0,00	0,00	0,000	0,000
D. Abwasserbehandlung	1.421,47	1.189,05	-232,41	-16,35	-0,019	-0,018
6. Sonstige	**NA**	**NA**				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	196,64	204,70	8,06	4,10	0,001	0,001
Internationaler Flugverkehr	112,64	112,65	0,01	0,01	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	84,01	92,05	8,04	9,57	0,001	0,001
Multilaterale Operationen	**IE,NE**	**IE,NE**				
Indirektes N_2O	**NO,IE**	**NE,IE**				

Tabelle 589: revidierte HFC-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**50,32**	**50,32**	**0,00**	**0,000**	**0,00**	**0,00**
2.E.1. Elektronik-Industrie	50,32	50,32	0,00	0,000	0,00	0,00

Tabelle 590: revidierte PFC-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**3.060,23**	**3.069,55**	**9,32**	**0,30**	**0,0008**	**0,0007**
2.C.3. Aluminiumproduktion	2.888,66	2.888,66	0,00	0,00	0,00	0,00
2.E.1. Elektronik-Industrie	171,58	171,58	0,00	0,00	0,00	0,00
2.E.4. Wärmeüberträger	IE,NA	9,32	9,32		0,0008	0,0007

Tabelle 591: revidierte SF_6-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**4.428,00**	**4.428,00**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
2.B.9. Produktion von FKW & SF6	114,00	114,00	0,00	0,00	0,000	0,000
2.C.4. Magnesiumproduktion	180,12	180,12	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	84,36	84,36	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.1. Elektrische Betriebsmittel	867,84	867,84	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.2. SF6 und FKW aus sonst. Produktverw.	3.181,68	3.181,68	0,00	0,00	0,000	0,000

Tabelle 592: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**5.850,00**	**5.850,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	5.567,08	5.567,08	0,00	0,00	0,00	0,00
2.H. Other	282,92	282,92	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 593: revidierte NF_3-Emissionen 1990

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**6,88**	**6,88**	**0,00**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
2.E.1. Elektronik-Industrie	6,88	6,88	0,00	0,000	0,000	0,000

22.4.2 Überblick für das Berichtsjahr 2019

Tabelle 594: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**691.622,62**	**688.886,21**	**-2.736,41**	**-0,40**	**-0,342**	**-0,349**
1. Energie	**662.682,69**	**659.719,64**	**-2.963,06**	**-0,45**	-0,371	-0,378
A. Verbrennung von Energieträgern	660.686,94	657.691,28	-2.995,66	-0,45	-0,375	-0,382
1. Energieerzeugung	244.822,18	246.152,23	1.330,05	0,54	0,166	0,169
2. Verarbeitendes Gewerbe	124.313,51	122.407,08	-1.906,43	-1,53	-0,238	-0,243
3. Verkehr	163.495,65	163.259,72	-235,93	-0,14	-0,030	-0,030
4. Übrige Sektoren	127.138,50	124.984,32	-2.154,18	-1,69	-0,269	-0,274
5. Sonstige	917,10	887,93	-29,18	-3,18	-0,004	-0,004
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1.995,75	2.028,36	32,61	1,63	0,004	0,004
1. Festbrennstoffe	614,61	647,17	32,55	5,30	0,004	0,004
2. Öl und Erdgas	1.381,14	1.381,19	0,06	0,00	0,000	0,000
C. Transport und Lagerung von CO_2	NO	NO				
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**45.924,02**	**44.699,51**	**-1.224,51**	**-2,67**	**-0,153**	**-0,156**
A. Mineralische Industrie	19.412,68	19.412,68	0,00	0,00	0,000	0,000
B. Chemische Industrie	5.316,95	5.316,95	0,00	0,00	0,000	0,000
C. Metallerzeugung	19.167,39	18.023,86	-1.143,53	-5,97	-0,143	-0,146
D. nichtenerg. Brennstoffnutzg. & Lösemitteleinsatz	2.027,00	1.946,01	-80,98	-4,00	-0,010	-0,010
3. Landwirtschaft	**2.821,10**	**2.730,80**	**-90,30**	**-3,20**	**-0,011**	**-0,012**
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**-19.805,19**	**-18.263,74**	**1.541,45**	**-7,78**		**0,196**
A. Forste / Wälder	-57.454,13	-52.777,52	4.676,61	-8,14		0,596
B. Ackerland	16.336,74	16.748,90	412,15	2,52		0,053
C. Grasland	17.006,82	18.590,78	1.583,96	9,31		0,202
D. Feuchtgebiete	4.333,77	4.308,83	-24,95	-0,58		-0,003
E. Siedlungen	4.122,12	932,21	-3.189,91	-77,39		-0,406
G. Holzernteprodukte	-4.150,51	-6.066,94	-1.916,42	46,17		-0,244
5. Abfall & Abwasser	**NO,NE,NA**	**NO,NE,NA**				
6. Sonstige	**NO**	**NA**				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	33.101,99	33.229,12	127,13	0,38	0,016	0,016
Internationaler Flugverkehr	29.633,20	29.622,24	-10,96	-0,04	-0,001	-0,001
Internationaler Seeverkehr	3.468,79	3.606,88	138,09	3,98	0,017	0,018
Multilaterale Operationen	IE,NE	IE,NE				
CO_2 aus Biomasse	103.596,69	105.735,88	2.139,19	2,06	0,267	0,273
aufgefangenes CO_2	**NO**	**NO**				
Langzeit-C-Speicherung in Mülldeponien	**NA**	**NA**				
Indirektes CO_2	**NO,NE,IE**	**NO,NE,IE**				

Tabelle 595: revidierte Methan-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
	[kt CO_2-Äquivalente]				*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**51.146,21**	**51.814,26**	**668,05**	**1,31**	**0,084**	**0,085**
1. Energie	9.518,69	8.983,48	-535,21	-5,62	-0,067	-0,068
A. Verbrennung von Energieträgern	4.378,18	3.918,39	-459,79	-10,50	-0,057	-0,059
1. Energieerzeugung	2.800,74	2.319,97	-480,77	-17,17	-0,060	-0,061
2. Verarbeitendes Gewerbe	292,64	289,25	-3,39	-1,16	0,000	0,000
3. Verkehr	237,40	233,31	-4,09	-1,72	-0,001	-0,001
4. Übrige Sektoren	1.046,26	1.074,50	28,23	2,70	0,004	0,004
5. Sonstige	1,14	1,37	0,23	20,28	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	5.140,51	5.065,08	-75,43	-1,47	-0,009	-0,010
1. Festbrennstoffe	153,35	154,62	1,27	0,83	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	4.987,16	4.910,46	-76,69	-1,54	-0,010	-0,010
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**503,13**	**565,01**	**61,88**	**12,30**	**0,008**	**0,008**
B. Chemische Industrie	465,62	525,48	59,86	12,86	0,007	0,008
C. Metallerzeugung	6,57	6,58	0,02	0,25	0,000	0,000
G. Übrige Produktanwendung	30,95	32,95	2,00	6,45	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	**30.859,04**	**31.997,11**	**1.138,08**	**3,69**	**0,142**	**0,145**
A. Verdauung	23.709,82	24.237,94	528,12	2,23	0,066	0,067
B. Düngerwirtschaft	5.833,70	6.446,25	612,55	10,50	0,077	0,078
J. Übrige	1.315,52	1.312,93	-2,59	-0,20	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**1.875,16**	**1.870,21**	**-4,96**	**-0,26**		**-0,001**
A. Forste / Wälder	47,24	47,18	-0,06	-0,13		0,000
B. Ackerland	135,19	131,80	-3,39	-2,50		0,000
C. Grasland	1.116,91	961,01	-155,90	-13,96		-0,020
D. Feuchtgebiete	506,25	664,27	158,01	31,21		0,020
E. Siedlungen	69,57	65,94	-3,62	-5,21		0,000
5. Abfall & Abwasser	**8.390,19**	**8.398,45**	**8,26**	**0,10**	**0,001**	**0,001**
A. Deponierung von festen Abfällen	7.189,33	7.186,58	-2,75	-0,04	0,000	0,000
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	701,44	712,43	11,00	1,57	0,001	0,001
C. Müllverbrennung	497,00	497,00	0,00	0,00	0,000	0,000
E. Sonstige	2,43	2,44	0,02	0,69	0,000	0,000
6. Sonstige	**NO**	**NA**				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**5,17**	**4,92**	**-0,25**	**-4,83**	**0,000**	**0,000**
Internationaler Flugverkehr	4,30	4,04	-0,26	-5,96	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	0,87	0,88	0,01	0,76	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	IE,NE	IE,NE				

Tabelle 596: revidierte Lachgas-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
	[kt CO_2-Äquivalente]				*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
Nationale Gesamtemissionen	**36.587,99**	**30.450,06**	**-6.137,93**	**-16,78**	**-0,767**	**-0,782**
1. Energie	5.159,79	5.132,43	-27,36	-0,53	-0,003	-0,003
A. Verbrennung von Energieträgern	5.158,79	5.131,43	-27,37	-0,53	-0,003	-0,003
1. Energieerzeugung	2.072,64	2.067,20	-5,44	-0,26	-0,001	-0,001
2. Verarbeitendes Gewerbe	831,05	815,59	-15,46	-1,86	-0,002	-0,002
3. Verkehr	1.799,78	1.791,17	-8,61	-0,48	-0,001	-0,001
4. Übrige Sektoren	451,16	453,65	2,49	0,55	0,000	0,000
5. Sonstige	4,16	3,83	-0,34	-8,10	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1,00	1,00	0,00	0,39	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	1,00	1,00	0,00	0,39	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**950,95**	**834,10**	**-116,84**	**-12,29**	**-0,015**	**-0,015**
B. Chemische Industrie	565,98	562,61	-3,36	-0,59	0,000	0,000
C. Metallerzeugung	14,76	14,00	-0,76	-5,17	0,000	0,000
D. nichtenerg. Brennstoffnutzg. & Lösemitteleinsatz	1,23	1,23	0,00	0,06	0,000	0,000
G. Übrige Produktanwendung	368,99	256,27	-112,72	-30,55	-0,014	-0,014

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
		[kt CO_2-Äquivalente]			*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
3. Landwirtschaft	**28.158,78**	**22.184,02**	**-5.974,76**	**-21,22**	**-0,747**	**-0,761**
B. Düngerwirtschaft	2.937,27	2.937,08	-0,19	-0,01	0,000	0,000
D. Landwirtschaftliche Böden	24.963,97	18.994,17	-5.969,79	-23,91	-0,746	-0,761
J. Übrige	257,54	252,76	-4,78	-1,86	-0,001	-0,001
4. Landnutzung, Landnutzungsänderung, Forstw.	**1.466,08**	**1.501,60**	**35,52**	**2,42**		**0,005**
A. Forste / Wälder	381,46	380,83	-0,63	-0,16		0,000
B. Ackerland	524,16	515,39	-8,77	-1,67		-0,001
C. Grasland	104,41	103,54	-0,87	-0,84		0,000
D. Feuchtgebiete	41,99	42,14	0,15	0,36		0,000
E. Siedlungen	147,15	133,28	-13,87	-9,43		-0,002
H. Sonstige	95,30	160,41	65,11	68,32		0,008
5. Abfall & Abwasser	**852,38**	**797,90**	**-54,48**	**-6,39**	**-0,007**	**-0,007**
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	306,19	310,01	3,82	1,25	0,000	0,000
D. Abwasserbehandlung	512,62	454,08	-58,53	-11,42	-0,007	-0,007
E. Sonstige	33,58	33,81	0,23	0,69	0,000	0,000
6. Sonstige	**NO**	**NA**				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**325,76**	**327,47**	**1,71**	**0,52**	**0,000**	**0,000**
Internationaler Flugverkehr	279,36	279,23	-0,13	-0,05	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	46,40	48,24	1,83	3,95	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	**NE**	**NE**				
Indirektes N_2O	**NO,IE**	**NE,IE**				

Tabelle 597: revidierte HFC-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
		[kt CO_2-Äquivalente]			*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
Nationale Gesamtemissionen	**9.611,81**	**9.324,53**	**-287,28**	**-2,99**	**-0,036**	**-0,037**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	IE	IE				
2.C.4. Magnesiumproduktion	10,37	10,37	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	14,69	14,69	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.1. Kälte- und Klimaanlagen	8.536,36	8.424,61	-111,75	-1,31	-0,014	-0,014
2.F.2. Schaumherstellung	581,21	404,94	-176,27	-30,33	-0,022	-0,022
2.F.3. Feuerlöschmittel	105,38	105,46	0,08	0,08	0,000	0,000
2.F.4. Aerosole	352,72	352,72	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.5. Lösemittel	IE	IE				
2.G.4. Andere	11,08	11,74	0,65	5,90	0,000	0,000

Tabelle 598: revidierte PFC-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
		[kt CO_2-Äquivalente]			*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
Nationale Gesamtemissionen	**231,76**	**231,88**	**0,12**	**0,05**	**0,000**	**0,000**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	IE	IE				
2.C.3. Aluminiumproduktion	90,61	90,61	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	136,97	136,97	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.1. Kälte- und Klimaanlagen	4,18	4,30	0,12	2,89	0,000	0,000
2.F.5. Lösemittel	IE	IE				
2.G.2. SF_6 und FKW aus sonst. Produktverw.	IE,NA	IE				

Tabelle 599: revidierte SF_6-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**3.919,33**	**3.919,33**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	1,06	1,06	0,00	0,00	0,000	0,000
2.C.4. Magnesiumproduktion	23,35	23,35	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	262,78	262,78	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.1. Elektrische Betriebsmittel	**3.919,33**	**3.919,33**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
2.G.2. SF_6 und FKW aus sonst.Produktverw.	1,06	1,06	0,00	0,00	0,000	0,000

Tabelle 600: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 2019

	Submission 2021	Submission 2022	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**203,92**	**204,84**	**0,92**	**0,449**	**0,000**	**0,000**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	47,26	47,26	0,00	0,000	0,000	0,000
2.H. Other	156,67	157,58	0,92	0,585	0,000	0,000

Tabelle 601: revidierte NF_3-Emissionen für 2019

	Submission 2020	Submission 2021	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**10,96**	**10,96**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
2.E.1. Elektronik-Industrie	10,96	10,96	0,00	0,00	0,000	0,000

23 Anhang 7: Unsicherheiten nach Kategorien

Die Unsicherheiten für die deutschen Treibhausgasinventare wurden vollständig für alle Kategorien und jeweils das Basisjahr, 2020 sowie den Trend ermittelt. In Deutschland werden die Unsicherheiten jedes Jahr nach der Tier 1 und nach der Tier 2 Methode berechnet.

Die Ergebnisse der diesjährigen Unsicherheitenanalyse sind nach den Vorgaben von Tabelle 3.4 und 3.5 der IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006b) in den Tabelle 602 und Tabelle 603 dargestellt.

Tabelle 602: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 1, Fehlerfortpflanzung gemäß Tabelle 3.4 der 2006 IPCC Guidelines)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
Sum	**THG**	**1.272.617,93**	**717.472,61**			**3,56**						**3,95**
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	CO2	338.451,16	180.749,02	3,25	1,19	3,46	0,57	0,02	0,14	0,66	0,24	0,50
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	CH4	172,17	2.211,84	8,33	56,14	56,75	0,02	0,00	0,00	0,02	0,14	0,02
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	N2O	2.407,46	1.596,45	3,04	17,77	18,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
1 A 1 b, Petroleum Refining	CO2	20.165,56	18.553,09	3,14	4,63	5,60	0,02	0,00	0,01	0,07	0,10	0,01
1 A 1 b, Petroleum Refining	CH4	16,06	14,27	2,50	18,33	18,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 1 b, Petroleum Refining	N2O	100,39	57,67	2,74	31,69	31,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	CO2	65.289,06	9.010,32	4,22	3,10	5,24	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	CH4	91,98	129,57	22,96	114,78	117,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	N2O	659,23	153,28	5,03	21,93	22,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 a, Iron and steel	CO2	35.269,33	32.589,67	5,14	3,69	6,32	0,06	0,01	0,03	0,19	0,14	0,05
1 A 2 a, Iron and steel	CH4	62,45	54,80	8,14	24,41	25,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 a, Iron and steel	N2O	155,10	97,72	4,60	33,67	33,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	CO2	1.629,22	1.487,49	10,98	0,95	11,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	CH4	1,39	1,66	11,03	68,92	69,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	N2O	17,14	7,91	9,96	62,52	63,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	CO2	3,65	7,80	5,22	2,24	5,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	CH4	0,65	2,57	4,01	42,99	43,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	N2O	2,81	11,05	4,01	51,22	51,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	CO2	2.015,91	241,42	4,86	1,40	5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	CH4	4,48	0,18	5,26	35,78	36,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	N2O	24,65	2,24	4,83	52,38	52,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	CO2	18.507,38	12.586,90	3,58	0,92	3,70	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	CH4	50,28	14,90	3,24	22,44	22,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	N2O	205,26	117,10	2,91	27,45	27,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
1 A 2 g, Other	CO2	127.739,52	68.423,36	0,00	3,40	3,40	0,08	0,01	0,05	0,00	0,26	0,07
1 A 2 g, Other	CH4	132,37	197,84	3,03	30,72	30,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 2 g, Other	N2O	945,39	543,70	2,91	15,00	15,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	CO2	2.410,94	1.037,78	7,65	3,82	8,55	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	CH4	2,63	1,50	9,47	93,45	93,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	N2O	24,31	10,41	7,45	111,69	111,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 b, Road Transport	CO2	151.886,32	141.282,74	0,00	4,79	4,79	0,67	0,02	0,11	0,00	0,76	0,58
1 A 3 b, Road Transport	CH4	1.561,13	208,64	4,53	14,48	15,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 b, Road Transport	N2O	1.343,46	1.642,22	6,49	16,52	17,75	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
1 A 3 c, Railways	CO2	3.122,15	783,08	0,00	10,04	10,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 3 c, Railways	CH4	17,61	0,26	8,54	28,83	30,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 c, Railways	N2O	7,66	1,97	8,73	64,85	65,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	CO2	3.001,22	1.392,69	25,28	2,09	25,36	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	CH4	1,94	0,54	30,71	27,81	41,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	N2O	20,87	11,66	12,64	101,22	102,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	CO2	1.083,27	767,52	2,80	0,93	2,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	CH4	5,31	3,76	2,80	69,89	69,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	N2O	14,49	6,70	2,90	48,30	48,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 4 a, Commercial/Institutional	CO2	64.111,32	27.615,78	0,00	8,30	8,30	0,08	0,01	0,02	0,00	0,26	0,07
1 A 4 a, Commercial/Institutional	CH4	1.461,71	83,17	14,73	100,18	101,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 a, Commercial/Institutional	N2O	147,44	89,08	6,87	71,23	71,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 b, Residential	CO2	128.635,75	89.770,76	0,00	8,50	8,50	0,85	0,00	0,07	0,00	0,86	0,74
1 A 4 b, Residential	CH4	2.484,67	785,86	14,22	132,69	133,45	0,02	0,00	0,00	0,01	0,12	0,01
1 A 4 b, Residential	N2O	768,85	290,19	8,87	84,01	84,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	CO2	10.177,88	6.027,12	0,00	12,71	12,71	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	CH4	241,36	171,66	8,10	51,74	52,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	N2O	60,97	67,57	12,99	92,33	93,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
1 A 5, Other: Military	CO2	11.752,90	743,34	0,00	5,57	5,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 5, Other: Military	CH4	279,42	1,33	4,18	44,22	44,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 5, Other: Military	N2O	60,89	3,18	3,38	87,22	87,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 1, Solid Fuels	CO2	1.832,80	629,55	0,00	36,14	36,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
1 B 1, Solid Fuels	CH4	25.553,44	136,68	0,00	25,34	25,34	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 a, Oil	CO2	477,63	393,26	0,00	24,90	24,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 B 2 a, Oil	CH4	241,85	17,00	0,00	17,80	17,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 a, Oil	N2O	0,32	0,25	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 b, Natural Gas	CO2	986,51	470,81	0,00	22,28	22,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 B 2 b, Natural Gas	CH4	7.997,44	4.764,96	0,00	15,12	15,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01
1 B 2 c, Venting and Flaring	CO2	543,52	321,31	0,00	138,70	138,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
1 B 2 c, Venting and Flaring	CH4	1,65	0,54	0,00	133,13	133,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 c, Venting and Flaring	N2O	2,04	0,69	0,00	68,26	68,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 A 1, Cement Production	CO2	15.297,27	13.357,49	2,50	2,00	3,20	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00
2 A 2, Lime Production	CO2	5.986,62	4.180,89	2,40	10,61	10,88	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
2 A 3, Glass Production	CO2	780,48	857,26	3,12	11,14	11,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates	CO2	1.458,01	647,77	5,67	12,99	14,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 B 1, Ammonia Production	CO2	6.025,00	4.133,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 2, Nitric Acid Production	N2O	3.257,50	377,79	0,56	2,19	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 3, Adipic Acid Production	N2O	18.076,68	189,11	2,00	6,00	6,32	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 5, Carbide Production	CO2	443,16	4,49	10,00	10,00	14,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 7, Soda Ash Production	CO2	667,25	360,96	0,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CO2	973,97	792,94	10,88	14,03	17,76	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CH4	333,69	503,42	15,30	16,50	22,50	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
2 B 9 a, By-product Emissions	HFC-23	C	C	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	SF6	159,60	0,89	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	HFC-134a	C	C	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	HFC-227ea	C	C	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	CF4	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
2 B 10, Other	CH4	59,51	59,48	0,00	38,73	38,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 10, Other	N2O	C	C	20,00	62,00	65,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 1, Iron and Steel Production	CO2	22.810,29	14.538,07	0,00	9,52	9,52	0,03	0,00	0,01	0,00	0,16	0,02
2 C 1, Iron and Steel Production	CH4	4,67	4,37	0,00	68,68	68,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 1, Iron and Steel Production	N2O	26,54	11,96	8,62	71,72	72,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 2, Ferroalloys Production	CO2	429,00	5,92	50,00	7,00	50,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 2, Ferroalloys Production	CH4	8,58	1,61	50,00	50,00	70,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	CO2	1.011,92	723,22	1,00	50,00	50,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
2 C 3, Aluminium Production	SF6	C	C	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	CF4	1.544,51	63,98	0,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	C2F6	256,20	12,72	0,00	15,03	15,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 4, Magnesium Production	SF6	C	C	0,00	30,04	30,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 4, Magnesium Production	HFC-134a	0,00	8,26	0,00	35,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 5, Lead Production	CO2	157,87	73,59	4,96	35,44	35,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 6, Zinc Production	CO2	670,80	284,30	0,00	41,52	41,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 D 1, Lubricant Use	CO2	188,65	182,44	0,00	39,80	39,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 D 2, Paraffin Wax Use	CO2	242,70	452,49	0,00	70,71	70,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
2 D 2, Paraffin Wax Use	N2O	0,70	1,30	0,00	60,57	60,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 D 3, Other	CO2	2.551,10	1.291,75	0,00	9,45	9,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 E, Electronics Industry	SF6	47,28	27,18	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	NF3	5,29	10,80	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	HFC-23	17,11	14,05	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	HFC-32	0,00	0,00	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	CF4	102,61	65,77	0,00	13,65	13,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C2F6	162,48	42,92	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C3F8	0,00	12,19	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	c-C4F8	0,00	5,73	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C6F14	25,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-23	16,25	61,73	0,00	14,14	14,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-32	0,76	215,78	0,00	7,65	7,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-43-10mee	C	C	0,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-125	149,88	2.079,39	0,00	6,55	6,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-134a	2.268,24	4.760,20	0,00	5,81	5,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-143a	71,33	1.257,47	0,00	9,91	9,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-152a	90,07	31,09	0,00	2,80	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-227ea	0,65	87,19	0,00	3,58	3,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-236fa	C	C	0,00	10,03	10,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-245fa	C	C	0,00	8,27	8,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-365mfc	C	C	0,00	8,92	8,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C2F6	0,00	2,69	0,00	21,17	21,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C3F8	19,91	1,26	0,00	19,07	19,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C6F14	C	C	0,00	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	CH4	4,53	23,33	20,00	20,00	28,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	N2O	C	C	0,00	47,80	47,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	SF6	C	C	0,00	9,40	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-134a	0,00	0,20	0,00	22,36	22,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-245fa	0,00	13,33	0,00	21,09	21,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-365mfc	0,00	0,70	0,00	22,36	22,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	C10F18	C	C	0,00	24,92	24,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 A, Enteric Fermentation	CH4	17.718,25	13.802,74	4,00	20,00	20,40	0,12	0,00	0,01	0,06	0,31	0,10
3 A, Enteric Fermentation	CH4	14.016,97	8.938,37	2,17	10,86	11,08	0,01	0,00	0,01	0,02	0,11	0,01
3 A, Enteric Fermentation	CH4	1.426,47	1.126,31	3,48	12,41	12,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
3 B, Manure Management	CH4	2.195,74	2.278,12	4,00	20,00	20,40	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
3 B, Manure Management	CH4	2.396,23	1.413,97	2,25	11,24	11,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
3 B, Manure Management	CH4	3.059,44	2.583,34	3,27	16,34	16,67	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
3 B, Manure Management	CH4	150,93	195,27	4,70	10,34	11,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 B, Manure Management	N2O	955,79	720,96	4,00	100,00	100,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01
3 B, Manure Management	N2O	982,87	721,15	2,08	52,03	52,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
3 B, Manure Management	N2O	400,81	367,80	3,14	78,53	78,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
3 B, Manure Management	N2O	126,91	135,66	4,99	49,81	50,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
3 B, Manure Management	N2O	1.189,68	962,86	40,00	400,00	402,00	0,22	0,00	0,00	0,04	0,43	0,19
3 D, Agricultural Soils	N2O	22.768,53	18.673,22	32,12	70,49	77,47	3,06	0,00	0,01	0,68	1,48	2,66
3 G, Liming	CO2	2.200,53	1.963,28	3,59	2,94	4,64	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
3 H, Urea Application	CO2	481,05	456,65	1,00	1,00	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers	CO2	510,45	189,68	3,00	3,00	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 J, Other	CH4	0,28	1.312,93	10,00	20,00	22,36	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
3 J, Other	N2O	0,12	252,76	9,52	97,10	97,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
4 A, Forest Land	CO2	-19.707,07	-46.252,00	0,00	17,09	17,09	0,91	0,00	0,04	0,00	1,04	1,08
4 A, Forest Land	CH4	39,47	35,87	0,00	96,91	96,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 A, Forest Land	N2O	465,04	375,40	0,00	106,49	106,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
4 B, Cropland	CO2	13.762,36	16.656,04	0,00	19,93	19,93	0,16	0,01	0,01	0,00	0,40	0,16
4 B, Cropland	CH4	145,74	125,81	0,00	62,51	62,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
4 B, Cropland	N2O	233,76	645,63	0,00	169,32	169,32	0,02	0,00	0,00	0,00	0,12	0,02
4 C, Grassland	CO2	26.383,49	18.068,74	0,00	46,67	46,67	1,04	0,00	0,03	0,00	2,27	5,14
4 C, Grassland	CH4	872,79	962,64	0,00	368,98	368,98	0,18	0,00	0,00	0,00	0,40	0,16
4 C, Grassland	N2O	66,89	122,45	0,00	128,90	128,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
4 D, Wetlands	CO2	3.705,75	4.452,15	0,00	33,04	33,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,18	0,03
4 D, Wetlands	CH4	335,07	683,70	0,00	54,27	54,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
4 D, Wetlands	N2O	34,10	42,36	0,00	165,65	165,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC Category	Gas	Base year emissions or removals	Year *x* emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data Note A	Input data Note A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G * D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\lvert\frac{D}{\sum C}\rvert$	*I * F* Note C	*J * E** Note D	$\sqrt{2\ K^2 + L^2}$
		t CO_2 equivalent	t CO_2 equivalent	%	%	%		%	%	%	%	%
4 E, Settlements	CO2	1.776,57	1.075,87	0,00	18,62	18,62	0,00	0,00	0,01	0,00	0,18	0,03
4 E, Settlements	CH4	48,03	65,27	0,00	60,89	60,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 E, Settlements	N2O	170,94	326,29	0,00	142,34	142,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
4 G, Harvested Wood Products	CO2	-1.330,35	-8.651,28	0,00	29,85	29,85	0,10	0,01	0,01	0,00	0,32	0,10
5 A, Solid Waste Disposal	CH4	34.200,20	6.769,63	0,00	50,00	50,00	0,17	0,01	0,01	0,00	0,38	0,15
5 B, Biological Treatment of Solid Waste	CH4	25,34	713,72	1,43	200,47	200,48	0,03	0,00	0,00	0,00	0,16	0,03
5 B, Biological Treatment of Solid Waste	N2O	15,97	309,87	1,46	163,01	163,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
5 D 1, Domestic Wastewater	CH4	2.563,25	435,53	3,17	23,92	24,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
5 D 1, Domestic Wastewater	N2O	1.157,46	431,67	33,24	3.889,93	3.890,07	4,12	0,00	0,00	0,02	1,89	3,59
5 D 2, Industrial Wastewater	CH4	9,25	47,23	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 D 2, Industrial Wastewater	N2O	31,59	26,80	50,00	300,00	304,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
5 E, Other	CH4	0,00	2,43	2,00	20,00	20,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 E, Other	N2O	0,00	33,57	2,00	20,00	20,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 603: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 2, Monte-Carlo-Simulation, gemäß Tabelle 3.5 der 2006 IPCC Guidelines)

A1	A2	B	C	D	E-	E+	F-	F+	G-	G+	H	I	J-	J+
IPCC Category	**Qualifier**	**gas**	**Base year emissions or removals**	**Emissions or removals 2020**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2020**		**Inventory trend in nationalemissions for 2020 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
Sum		**THG**	**1.272.617,93**	**717.472,61**					**3,18**	**3,45**		**-43,62**	**9,01**	**9,45**
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO2	338.451,16	180.749,02	7,49	7,77	2,64	2,64	3,39	3,45	0,07	-46,60	8,44	8,80
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CH4	172,17	2.211,84	29,68	44,50	48,70	117,17	28,91	39,92	0,00	1.184,70	48,44	65,40
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	N2O	2.407,46	1.596,45	25,53	24,35	50,02	45,87	20,74	20,81	0,00	-33,69	103,95	145,08
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO2	20.165,56	18.553,09	10,18	10,66	9,81	10,90	5,39	5,53	0,00	-8,00	108,91	115,57
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CH4	16,06	14,27	39,68	39,57	30,07	53,40	19,55	19,71	0,00	-11,16	304,91	375,06
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	N2O	100,39	57,67	58,57	53,07	33,42	35,49	35,31	35,93	0,00	-42,55	483,90	671,42
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO2	65.289,06	9.010,32	11,55	12,22	11,01	11,42	5,17	5,25	0,00	-86,20	2,11	2,18
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CH4	91,98	129,57	31,49	41,69	59,17	126,58	50,33	87,36	0,00	40,87	1.692,14	3.103,75
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	N2O	659,23	153,28	18,30	22,03	45,70	53,00	26,04	26,67	0,00	-76,75	23,59	28,70
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO2	35.269,33	32.589,67	13,27	14,54	10,57	10,95	5,92	6,37	0,01	-7,60	490,30	522,83
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CH4	62,45	54,80	11,22	10,49	32,23	34,37	24,83	25,08	0,00	-12,26	348,00	479,42
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	N2O	155,10	97,72	39,17	35,26	72,36	95,12	36,37	36,64	0,00	-37,00	322,20	501,75
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	1.629,22	1.487,49	9,80	10,44	1,37	1,36	8,32	8,81	0,00	-8,70	25,99	28,12
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CH4	1,39	1,66	20,70	14,32	67,58	75,51	68,86	71,27	0,00	19,60	815,93	1.737,33
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	N2O	17,14	7,91	35,47	22,40	55,36	58,36	63,51	65,07	0,00	-53,85	112,01	196,98
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO2	3,65	7,80	8,65	8,83	3,04	3,17	5,62	5,73	0,00	113,96	65,06	68,65
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CH4	0,65	2,57	43,66	42,93	55,65	65,59	48,30	48,39	0,00	293,75	90,75	129,30
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	N2O	2,81	11,05	10,69	11,37	10,19	11,80	6,91	7,43	0,00	293,75	14,74	15,85
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO2	2.015,91	241,42	5,94	6,87	3,15	3,29	3,53	3,64	0,00	-88,02	0,71	0,74
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CH4	4,48	0,18	28,46	35,69	40,82	48,39	37,01	37,58	0,00	-95,93	5,10	8,20
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	N2O	24,65	2,24	22,32	23,76	52,07	65,60	39,53	44,35	0,00	-90,90	8,30	15,58
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	18.507,38	12.586,90	11,82	13,68	2,01	2,09	2,81	2,89	0,00	-31,99	9,50	9,66
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CH4	50,28	14,90	42,67	53,02	33,88	35,34	25,88	25,94	0,00	-70,36	184,71	247,61
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	N2O	205,26	117,10	27,64	39,06	35,24	41,23	23,30	23,94	0,00	-42,95	82,66	123,99
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO2	127.739,52	68.423,36	15,16	17,12	3,64	4,00	2,75	2,88	0,01	-46,44	12,71	13,18
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CH4	132,37	197,84	40,56	50,42	66,95	158,84	18,15	22,28	0,00	49,45	82,69	103,56
1 A 2 g, Other	fossil fuels	N2O	945,39	543,70	40,40	48,96	28,71	30,16	12,55	12,91	0,00	-42,49	84,57	96,43

A1	A2	B	C	D	E-	E+	F-	F+	G-	G+	H	I	J-	J+
IPCC Category	**Qualifier**	**gas**	**Base year emissions or removals**	**Emissions or removals 2020**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2020**		**Inventory trend in nationalemissions for 2020 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO2	2.410,94	1.037,78	12,59	12,88	5,45	5,73	8,52	8,68	0,00	-56,96	10,92	11,78
1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CH4	2,63	1,50	15,03	13,03	53,50	137,66	53,85	93,09	0,00	-42,73	351,24	700,21
1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	N2O	24,31	10,41	40,11	36,36	63,57	143,68	57,76	108,41	0,00	-57,19	95,55	207,46
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	151.886,32	141.282,74	37,69	45,81	7,92	8,97	4,83	4,83	0,08	-6,98	43,59	47,47
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CH4	1.561,13	208,64	28,98	45,00	63,16	151,74	12,69	14,88	0,00	-86,63	15,19	18,61
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	N2O	1.343,46	1.642,22	42,16	59,29	32,09	60,11	13,80	16,12	0,00	22,24	771,58	1.005,40
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO2	3.122,15	783,08	10,38	10,45	3,23	3,20	9,95	10,23	0,00	-74,92	6,27	6,97
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CH4	17,61	0,26	13,78	13,36	54,16	93,85	29,62	30,47	0,00	-98,50	0,91	1,19
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	N2O	7,66	1,97	15,48	14,51	39,50	63,52	37,43	54,67	0,00	-74,26	27,52	43,79
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO2	3.001,22	1.392,69	22,74	44,00	2,95	4,25	25,43	25,45	0,00	-53,60	52,61	80,34
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CH4	1,94	0,54	33,99	53,57	34,11	43,73	38,82	44,62	0,00	-72,02	32,99	57,76
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	N2O	20,87	11,66	11,13	13,21	47,99	74,73	33,72	44,78	0,00	-44,13	136,74	202,54
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	1.083,27	767,52	1,21	1,75	1,08	1,07	1,50	1,79	0,00	-29,15	2,80	2,98
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CH4	5,31	3,76	6,81	4,69	43,52	64,67	39,56	56,58	0,00	-29,34	71,41	111,43
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	N2O	14,49	6,70	4,63	3,17	51,51	51,91	48,21	48,48	0,00	-53,73	37,54	61,48
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO2	64.111,32	27.615,78	10,27	11,15	1,54	1,58	5,63	5,73	0,00	-56,93	8,93	9,59
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CH4	1.461,71	83,17	42,66	50,22	47,49	103,41	35,10	51,01	0,00	-94,31	35,47	67,46
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	N2O	147,44	89,08	41,61	48,16	38,08	57,75	29,35	33,90	0,00	-39,58	44,76	60,83
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO2	128.635,75	89.770,76	8,89	10,01	1,44	1,63	6,29	6,45	0,06	-30,21	20,66	22,06
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CH4	2.484,67	785,86	20,31	21,53	45,09	67,81	40,25	56,53	0,00	-68,37	395,87	634,88
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	N2O	768,85	290,19	27,02	41,44	52,99	76,94	34,19	39,07	0,00	-62,26	73,81	103,47
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO2	10.177,88	6.027,12	27,31	27,81	7,91	7,29	12,71	12,73	0,00	-40,78	58,82	63,40
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CH4	241,36	171,66	22,50	24,68	46,81	81,44	30,38	42,44	0,00	-28,88	70,10	101,47
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	N2O	60,97	67,57	33,14	35,21	46,90	77,14	29,14	40,33	0,00	10,82	187,81	266,84
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO2	11.752,90	743,34	9,34	10,51	2,65	2,85	3,91	4,05	0,00	-93,68	1,16	1,21
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CH4	279,42	1,33	24,71	52,36	61,92	85,34	44,25	44,38	0,00	-99,52	5,59	8,01
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	N2O	60,89	3,18	26,36	26,68	66,21	199,21	41,04	77,00	0,00	-94,78	7,53	13,50
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	1.832,80	629,55	3,02	2,99	25,03	30,84	32,06	32,49	0,00	-65,65	89,35	126,44
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CH4	25.553,44	136,68	25,18	24,10	33,45	40,61	27,09	27,01	0,00	-99,47	1,29	2,18
1 B 2 a, Oil		CO2	477,63	393,26	35,64	46,82	30,81	31,33	26,06	28,17	0,00	-17,66	263,83	348,96
1 B 2 a, Oil		CH4	241,85	17,00	10,99	11,14	21,23	21,40	17,78	19,08	0,00	-92,97	3,04	3,52
1 B 2 a, Oil		N2O	0,32	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	29,63	30,03	0,00	-21,55	308,14	427,05
1 B 2 b, Natural Gas		CO2	986,51	470,81	26,10	33,35	34,26	37,77	22,33	22,25	0,00	-52,27	20,50	26,53
1 B 2 b, Natural Gas		CH4	7.997,44	4.764,96	24,49	29,97	54,19	67,67	17,99	21,01	0,00	-40,42	23,00	27,47

A1	A2	B	C	D	E-	E+	F-	F+	G-	G+	H	I	J-	J+
IPCC Category	**Qualifier**	**gas**	**Base year emissions or removals**	**Emissions or removals 2020**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2020**		**Inventory trend in nationalemissions for 2020 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
1 B 2 c, Venting and Flaring		CO2	543,52	321,31	3,00	3,00	10,02	10,02	15,50	15,52	0,00	-40,88	62,52	74,51
1 B 2 c, Venting and Flaring		CH4	1,65	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	19,15	19,19	0,00	-66,95	31,59	41,43
1 B 2 c, Venting and Flaring		N2O	2,04	0,69	3,00	3,00	25,03	25,03	68,19	69,30	0,00	-66,18	103,48	167,18
2 A 1, Cement Production		CO2	15.297,27	13.357,49	2,49	2,49	1,99	2,00	3,18	3,21	0,00	-12,68	27,01	28,23
2 A 2, Lime Production		CO2	5.986,62	4.180,89	2,66	2,68	7,35	5,93	7,17	6,09	0,00	-30,16	19,90	21,22
2 A 3, Glass Production		CO2	780,48	857,26	8,86	10,27	24,62	29,43	11,38	11,61	0,00	9,84	628,24	703,71
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO2	1.458,01	647,77	9,17	8,83	9,78	11,23	13,52	13,91	0,00	-55,57	10,33	12,60
2 B 1, Ammonia Production		CO2	6.025,00	4.133,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,99	0,00	-31,40	2,44	2,45
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	3.257,50	377,79	1,69	1,70	4,01	4,17	2,26	2,26	0,00	-88,40	0,41	0,42
2 B 3, Adipic Acid Production		N2O	18.076,68	189,11	1,99	1,99	6,01	5,93	6,30	6,33	0,00	-98,95	0,08	0,09
2 B 5, Carbide Production		CO2	443,16	4,49	10,00	9,94	10,03	10,05	13,80	14,56	0,00	-98,99	3,95	4,60
2 B 7, Soda Ash Production		CO2	667,25	360,96	0,00	0,00	0,00	0,00	2,49	2,49	0,00	-45,90	7,14	7,35
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO2	973,97	792,94	46,36	58,92	22,33	23,56	17,34	18,56	0,00	-18,59	243,91	296,10
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH4	333,69	503,42	25,81	27,17	14,25	15,80	19,63	20,19	0,00	50,86	159,66	195,98
2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01	2,98	0,00	-99,96	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF6	159,60	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	2,98	2,97	0,00	-99,44	0,02	0,02
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-134a	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	3,02	3,01	0,00	-45,74	4,99	5,12
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-227ea	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,02	0,00		0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions		CF4	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
2 B 10, Other		CH4	59,51	59,48	0,00	0,00	0,00	0,00	39,10	39,02	0,00	-0,05	5.846,08	8.946,84
2 B 10, Other		N2O	C	C	20,03	20,00	62,30	62,02	62,94	68,22	0,00	0,00	461,19	962,71
2 C 1, Iron and Steel Production		CO2	22.810,29	14.538,07	20,87	23,10	8,35	8,42	9,31	9,70	0,00	-36,27	37,46	40,54
2 C 1, Iron and Steel Production		CH4	4,67	4,37	1,01	1,01	77,49	80,01	67,80	67,52	0,00	-6,38	163,90	293,49
2 C 1, Iron and Steel Production		N2O	26,54	11,96	15,33	11,73	71,99	76,15	71,78	74,25	0,00	-54,94	526,46	1.242,41
2 C 2, Ferroalloys Production		CO2	429,00	5,92	50,22	50,29	6,96	6,96	50,44	51,20	0,00	-98,62	474,25	135,81
2 C 2, Ferroalloys Production		CH4	8,58	1,61	50,22	50,29	49,77	49,73	62,62	80,69	0,00	-81,19	362,84	235,32
2 C 3, Aluminium Production		CO2	1.011,92	723,22	0,98	1,01	49,41	49,95	49,42	49,95	0,00	-28,53	59.827,87	108.529,78
2 C 3, Aluminium Production		SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	9,89	10,81	0,00	-63,76	7,92	8,89
2 C 3, Aluminium Production		CF4	1.544,51	63,98	0,00	0,00	0,00	0,00	14,97	14,84	0,00	-95,86	0,86	1,01
2 C 3, Aluminium Production		C2F6	256,20	12,72	0,00	0,00	0,00	0,00	15,01	15,15	0,00	-95,03	1,04	1,22
2 C 4, Magnesium Production		SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	17,33	11,00	0,00	-73,15	7,90	9,39
2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	0,00	8,26	0,00	0,00	0,00	0,00	20,66	12,96	0,00		0,00	0,00
2 C 5, Lead Production		CO2	157,87	73,59	10,80	18,40	34,95	40,41	35,37	36,05	0,00	-53,39	82,08	120,62
2 C 6, Zinc Production		CO2	670,80	284,30	0,00	0,00	0,00	0,00	41,24	41,43	0,00	-57,62	46,27	70,89

A1	A2	B	C	D	E-	E+	F-	F+	G-	G+	H	I	J-	J+
IPCC Category	**Qualifier**	**gas**	**Base year emissions or removals**	**Emissions or removals 2020**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2020**		**Inventory trend in nationalemissions for 2020 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
2 D 1, Lubricant Use		CO2	188,65	182,44	24,64	24,87	49,75	49,87	37,20	42,69	0,00	-3,29	1.033,96	1.527,45
2 D 2, Paraffin Wax Use		CO2	242,70	452,49	0,00	0,00	0,00	0,00	71,32	71,05	0,00	86,44	190,39	451,75
2 D 2, Paraffin Wax Use		N2O	0,70	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	60,39	61,08	0,00	86,44	202,14	522,99
2 D 3, Other		CO2	2.551,10	1.291,75	19,93	19,97	10,06	10,10	9,40	9,49	0,00	-49,37	21,29	23,24
2 E, Electronics Industry		SF6	47,28	27,18	0,00	0,00	0,00	0,00	7,05	7,34	0,00	-42,52	13,32	14,38
2 E, Electronics Industry		NF3	5,29	10,80	0,00	0,00	0,00	0,00	7,03	7,35	0,00	104,20	19,12	20,67
2 E, Electronics Industry		HFC-23	17,11	14,05	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	7,42	0,00	-17,92	45,14	48,76
2 E, Electronics Industry		HFC-32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	7,40	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry		CF4	102,61	65,77	0,00	0,00	0,00	0,00	6,55	6,75	0,00	-35,91	16,22	17,25
2 E, Electronics Industry		C2F6	162,48	42,92	0,00	0,00	0,00	0,00	6,96	7,38	0,00	-73,59	3,53	3,79
2 E, Electronics Industry		C3F8	0,00	12,19	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	7,40	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry		c-C4F8	0,00	5,73	0,00	0,00	0,00	0,00	7,03	7,37	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry		C6F14	25,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-100,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-23	16,25	61,73	0,00	0,00	0,00	0,00	14,26	14,16	0,00	279,80	27,36	33,06
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	0,76	215,78	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	7,64	0,00	28.443,85	13,53	15,82
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01	2,01	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-125	149,88	2.079,39	0,00	0,00	0,00	0,00	6,59	6,55	0,00	1.287,39	16,90	21,06
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-134a	2.268,24	4.760,20	0,00	0,00	0,00	0,00	5,85	5,84	0,00	109,86	18,30	20,55
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-143a	71,33	1.257,47	0,00	0,00	0,00	0,00	9,92	9,91	0,00	1.662,92	14,51	16,25
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	90,07	31,09	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	2,81	0,00	-65,49	6,27	7,51
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	0,65	87,19	0,00	0,00	0,00	0,00	3,61	3,59	0,00	13.383,97	17,88	23,48
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-236fa	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	10,05	10,05	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-245fa	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	8,18	8,27	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-365mfc	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	8,83	8,90	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C2F6	0,00	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	21,12	21,04	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C3F8	19,91	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	19,07	19,01	0,00	-93,68	1,86	2,42
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C6F14	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	19,87	19,72	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		CH4	4,53	23,33	20,08	20,05	20,21	20,07	26,53	30,06	0,00	415,20	66,94	89,48
2 G, Other Product Manufacture and Use		N2O	C	C	89,74	110,55	43,60	67,79	47,50	47,42	0,00	-90,10	8,54	14,37
2 G, Other Product Manufacture and Use		SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	9,40	9,38	0,00	-54,76	25,89	27,03
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-134a	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	22,51	22,31	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-245fa	0,00	13,33	0,00	0,00	0,00	0,00	21,07	20,74	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-365mfc	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	22,34	22,26	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		C10F18	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	24,97	24,94	0,00		0,00	0,00

A1	A2	B	C	D	E-	E+	F-	F+	G-	G+	H	I	J-	J+
IPCC Category	**Qualifier**	**gas**	**Base year emissions or removals**	**Emissions or removals 2020**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2020**		**Inventory trend in nationalemissions for 2020 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH4	17.718,25	13.802,74	4,00	3,96	20,07	20,02	20,31	20,48	0,01	-22,10	209,90	259,47
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	14.016,97	8.938,37	11,32	11,87	13,14	14,36	10,98	11,02	0,00	-36,23	43,37	48,84
3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH4	1.426,47	1.126,31	16,50	16,60	34,31	43,74	12,80	12,95	0,00	-21,04	120,37	140,61
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	2.195,74	2.278,12	4,00	4,00	19,96	20,15	20,25	20,64	0,00	3,75	452,04	561,16
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	2.396,23	1.413,97	10,15	10,82	17,66	19,91	11,40	11,42	0,00	-40,99	36,96	41,49
3 B, Manure Management	swine	CH4	3.059,44	2.583,34	7,16	6,72	20,92	22,23	16,65	16,85	0,00	-15,56	796,49	944,41
3 B, Manure Management	other animals	CH4	150,93	195,27	14,74	16,27	49,46	59,57	11,25	11,35	0,00	29,38	76,55	89,29
3 B, Manure Management	dairy cows	N2O	955,79	720,96	4,00	4,00	57,30	99,76	57,37	100,03	0,00	-24,57	8.240,95	18.093,72
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N2O	982,87	721,15	30,64	42,58	44,63	94,04	34,00	49,04	0,00	-26,63	307,22	466,28
3 B, Manure Management	swine	N2O	400,81	367,80	27,85	20,17	52,07	97,18	46,37	76,70	0,00	-8,23	685,77	1.253,43
3 B, Manure Management	other animals	N2O	126,91	135,66	45,80	58,91	77,50	171,40	32,82	46,79	0,00	6,89	1.247,29	1.893,76
3 B, Manure Management	deposition	N2O	1.189,68	962,86	40,02	40,44	94,83	402,68	95,19	405,87	0,02	-19,07	131,51	747,19
3 D, Agricultural Soils		N2O	22.768,53	18.673,22	77,35	160,93	75,76	334,48	35,90	81,84	0,24	-17,99	3.315,01	5.777,91
3 G, Liming		CO2	2.200,53	1.963,28	3,55	3,40	3,53	3,39	4,38	4,56	0,00	-10,78	43,23	34,37
3 H, Urea Application		CO2	481,05	456,65	1,01	0,99	1,01	1,00	1,42	1,41	0,00	-5,07	485,54	493,55
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	510,45	189,68	2,99	3,00	2,99	2,99	4,19	4,27	0,00	-62,84	5,59	5,82
3 J, Other		CH4	0,28	1.312,93	9,97	10,07	19,92	19,91	21,76	23,11	0,00	475.758,23	28,42	35,99
3 J, Other		N2O	0,12	252,76	95,16	387,93	60,73	105,45	56,33	97,75	0,00	202.928,66	70,46	152,15
4 A, Forest Land		CO2	-19.707,07	-46.252,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,90	19,95	0,15	134,70	43,85	49,25
4 A, Forest Land		CH4	39,47	35,87	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	154,27	0,00	-9,12	314,90	863,97
4 A, Forest Land		N2O	465,04	375,40	0,00	0,00	0,00	0,00	83,21	81,88	0,00	-19,28	1.045,75	2.635,12
4 B, Cropland		CO2	13.762,36	16.656,04	0,00	0,00	0,00	0,00	14,46	12,54	0,01	21,03	120,17	163,93
4 B, Cropland		CH4	145,74	125,81	0,00	0,00	0,00	0,00	42,79	65,58	0,00	-13,68	1.219,95	2.225,46
4 B, Cropland		N2O	233,76	645,63	0,00	0,00	0,00	0,00	56,45	120,88	0,00	176,20	104,91	240,19
4 C, Grassland		CO2	26.383,49	18.068,74	0,00	0,00	0,00	0,00	91,69	76,55	0,26	-31,51	226,92	454,47
4 C, Grassland		CH4	872,79	962,64	0,00	0,00	0,00	0,00	50,62	91,04	0,00	10,30	324,68	672,01
4 C, Grassland		N2O	66,89	122,45	0,00	0,00	0,00	0,00	46,34	91,65	0,00	83,06	118,68	705,00
4 D, Wetlands		CO2	3.705,75	4.452,15	0,00	0,00	0,00	0,00	43,85	116,52	0,03	20,14	282,93	562,33
4 D, Wetlands		CH4	335,07	683,70	0,00	0,00	0,00	0,00	57,32	234,08	0,00	104,05	111,63	398,55
4 D, Wetlands		N2O	34,10	42,36	0,00	0,00	0,00	0,00	8,90	8,99	0,00	24,25	86,05	107,42
4 E, Settlements		CO2	1.776,57	1.075,87	0,00	0,00	0,00	0,00	250,53	177,62	0,01	-39,44	330,68	313,71
4 E, Settlements		CH4	48,03	65,27	0,00	0,00	0,00	0,00	41,39	67,12	0,00	35,89	167,74	327,50
4 E, Settlements		N2O	170,94	326,29	0,00	0,00	0,00	0,00	51,48	130,26	0,00	90,88	136,25	315,38

A1	A2	B	C	D	E-	E+	F-	F+	G-	G+	H	I	J-	J+
IPCC Category	**Qualifier**	**gas**	**Base year emissions or removals**	**Emissions or removals 2020**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2020**		**Inventory trend in nationalemissions for 2020 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
4 G, Harvested Wood Products		CO2	-1.330,35	-8.651,28	0,00	0,00	0,00	0,00	32,42	32,22	0,01	550,30	53,88	68,67
5 A, Solid Waste Disposal		CH4	34.200,20	6.769,63	0,00	0,00	0,00	0,00	32,34	22,42	0,01	-80,21	9,30	13,01
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	25,34	713,72	11,06	33,35	71,12	210,41	60,93	119,13	0,00	2.716,57	98,17	255,62
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N2O	15,97	309,87	14,51	17,13	37,59	70,95	33,52	46,97	0,00	1.840,87	79,57	133,58
5 D 1, Domestic Wastewater		CH4	2.563,25	435,53	30,21	29,97	36,06	35,81	43,14	50,75	0,00	-83,01	3,21	5,29
5 D 1, Domestic Wastewater		N2O	1.157,46	431,67	86,38	140,53	96,92	368,03	77,75	249,39	0,00	-62,71	681,70	2.731,47
5 D 2, Industrial Wastewater		CH4	9,25	47,23	0,00	0,00	0,00	0,00	49,82	50,52	0,00	410,48	83,76	152,68
5 D 2, Industrial Wastewater		N2O	31,59	26,80	50,11	49,97	99,89	597,03	99,90	594,11	0,00	-15,15	100,71	236,43
5 E, Other		CH4	0,00	2,43	2,01	2,00	20,11	20,09	20,16	20,28	0,00		36,76	45,86
5 E, Other		N2O	0,00	33,57	2,02	2,01	19,93	20,04	20,02	20,17	0,00		61,00	215,75

Die Unsicherheitsbestimmung für die Kategorien erfolgte einerseits bereits sukzessive im Rahmen der Zuarbeit der datenliefernden Facheinheiten im UBA zur aktuellen Emissionsberichterstattung. Andererseits wurden für Quellgruppen, für die bisher keine oder nur unvollständige Angaben zu den Unsicherheiten vorlagen, im Rahmen von Forschungsvorhaben weitere Unsicherheitenbestimmungen von externen Experten durchgeführt und die Ergebnisse in die Unsicherheitenanalyse der aktuellen Berichterstattung eingearbeitet.

Die Unsicherheiten in der Kategorien Landwirtschaft und LULUCF werden von Experten des TI abgeschätzt.

24 Referenzen

20. BImSchV: Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 2014(BGBl. I S. 1447), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBl. I S. 656) geändert worden ist, published by BGBl. (2017).

21. BImSchV: Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 2014 (BGBl. I S. 1453), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBl. I S. 656) geändert worden ist, published by BGBl. (2017).

30. BImSchV: Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen - 30. BImSchV), published by BGBl. (2017).

91/271/EWG (1991): Richtlinie des Rates vom 21.Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser; Amtsblatt_der_Europäischen_Gemeinschaft Nr. L 135/40, 30 S. 91, Artikel 2 Nr. 6.

AGEB (2016): *Umsetzung eines Verfahrens zur regelmäßigen und aktuellen Ermittlung des Energieverbrauchs in nicht von der amtlichen Statistik erfassten Bereichen* (I C 4 - 73/15). Münster, Stuttgart. Retrieved from https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/umsetzung-verfahren-ermittlung-energieverbrauch-nicht-amtliche-statisik-langfassung.html

AGEB (2021a): Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energieverbrauch in Deutschland - Daten für das 1. bis 4. Quartal 2020 [Press release]. Retrieved from https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=quartalsbericht_q4_2020.pdf

AGEB (2021b): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020 [Press release]

AGEB (2021c): Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeinheiten (2005-2019). from Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=heizwerte2005bis2019.pdf

AGEB (Ed.) (2003). *Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland - Jahre 1990-1999*. Frankfurt a. M.:
Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke.

AMD (2003): *Umweltbericht*. Dresden. Retrieved from http://data.theeuropeanlibrary.org/BibliographicResource/3000070766859

Anderl, M., Kampel, E., Köther, T., Muik, B., Pazdernik, K., Schodl, B., Poupa, S., Wappel, D., & Wieser, M. (2008): *Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2008 - Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. Wien: Umweltbundesamt (Österreich).

Andreas, L. (2000): *Langzeitemissionsverhalten von Deponien für Siedlungsabfälle in den neuen Bundesländern*: Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V.

Arbeitsgruppe Boden (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung* (Vol. 4). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

ATV (2004): *Produktionsspezifische Abwässer und Abfälle aus der Glas- und Mineralfaserindustrie*. Hennef: GFA.

Austermann-Haun, U., & Carozzi, A. (2011): *Bereitstellung einer qualitätsgesicherten Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung zur Umsetzung von internationalen Luftreinhalte- und Klimaschutzvereinbarungen für ausgewählte Industriebranchen – hier: N2O Emissionsfaktoren aus der Abwasserreinigung der vier relevantesten Industriebereiche*. Detmold. Retrieved from

Austermann-Haun, U., & Witte, H. (2014): *Liste der großtechnischen Anaerobanlagen zur Industrieabwasserreinigung in Deutschland, Stand April 2014*. Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Detmold.

Bachmaier, J., & Gronauer, A. (2007): *Klimabilanz von Biogasstrom*.

BAFA (2021). Mineralölstatistik. Retrieved from http://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloel/mineraloel_node.html

BAIUDBw (2020): Brennstoffeinsatz der Bundeswehr (unveröffentlicht). nicht veröffentlicht.

Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., & Griffis, T. J. (2007): Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment, 118*(1), 1-5.

Barghorn, M., Goessele, P., & Kaworski, W. (1986): *Laufende Aktualisierung des Datenmaterials aus der Bundesweiten Hausmuellanalyse*.

Baritz, R., Seufert, G., Montanarella, L., & Van Ranst, E. (2010): Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management, 260*(3), 262-277.

Bauer, S., Polcher, D. A., & Greßmann, A. (2010): *Evaluierung der Anforderungen der 20. BImSchV für Binnentankschiffe im Hinblick auf die Wirksamkeit der Emissionsminderung klimarelevanter Gase* (FKZ 3709 45 326). München. Retrieved from

BauGB: Baugesetzbuch, (2015).

BDZ (2005): *Zement-Jahresbericht 2004/2005*: Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (BDZ).

BDZ (2017): *Betriebs- und Leistungsfähigkeit von vollbiologischen Kleinkläranlagen bis 50 EW*.

Bechtold, M., Tiemeyer, B., Laggner, A., Leppelt, T., Frahm, E., & Belting, S. (2014): Large-scale regionalization of water table depth in peatlands optimized for greenhouse gas emission upscaling. *Hydrology and Earth System Sciences, 18*(9), 3319.

Becker, A., Düputell, D., Gärtner, A., Hirschberger, R., & Oberdörfer, M. (2012): Emissionen klimarelevanter Gase aus Kläranlagen. *Immissionsschutz*(04).

Beduco NV (2020). Nährstoffgehalte von Kaninchenfutter. Retrieved from http://docplayer.org/28662297-Kaninchen-rohfett-rohprotein.html

Bender (2009a): *Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCC- und UNECE-Berichterstattung - Bereich Lageranlagen* (Bericht Nr. M74 244/7, UBA FKZ 3707 42 103/01).

Bender (2009b): *Inventarverbesserung 2008, Verbesserung und Ergänzung der aktuellen Inventardaten, IPCC-Kategorie (1996) 1.B.2 Diffuse Emissionen aus Erdöl und Erdgas* (UBA FKZ 360 16 012).

Bender, & Langer (2012): *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.b.iii* (Bericht Nr. M96023/01, UBA FKZ 360 16 035).

Bender, M., & von Müller, G. (2019): *Konsolidierung der Treibhausgasemissionsberechnungen unter der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls und der neuen Klimaschutz-Berichterstattungspflichten an die EU* (FKZ 3716 41 107 0).

Betzenbichler, W., Kolmetz, S., & Randall, S. (2016a): *Erarbeitung wissenschaftlich-methodischer Grundlagen zur Umsetzung der Empfehlungen aus den internationalen Inventarüberprüfungen - Verbesserung des Qualitätsmanagements und der Verifikation der deutschen Emissionsinventare*. Freising, Dessau-Roßlau: VERICO.

Betzenbichler, W., Kolmetz, S., & Randall, S. (2016b): *Erarbeitung wissenschaftlich-methodischer Grundlagen zur Umsetzung der Empfehlungen aus den internationalen Inventarüberprüfungen - Verbesserung des Qualitätsmanagements und der Verifikation der deutschen Emissionsinventare*. Freising, Dessau-Roßlau. Retrieved from

Beyer, M., Chudy, A., Hoffmann, L., Jentsch, W., Laube, W., Nehring, K., & Schiemann, R. (2004): *Rostocker Futterbewertungssystem: Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs auf der Basis von Nettoenergie*. Dummerstorf: Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere.

BGR, B. f. G. u. R. (Cartographer) (1995). Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1 000 000, digitale Version (BÜK 1000/LBA_V2) [Karte]

BGR, B. f. G. u. R. (Cartographer) (1997). Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1 000 000, digitale Version (BÜK 1000/LBA_V2) [Karte]

BGR, B. f. G. u. R. (Cartographer) (2008). Gruppen der Bodenausgangsgesteine in Deutschland 1 : 5 000 000 (BAG 5000), FISBo BGR

BGR, B. f. G. u. R. (2011): *Schätzprofile der BÜK 1000 n 2.3; FISBo BGR* https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/BUEK1000/buek1000_node.html

Biertümpfel, A., Rudel, H., Werner, A., & Vetter, A. (2009): *15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen*. Jena. Retrieved from http://www.tll.de/ainfo/pdf/ehol1009.pdf

Bittkau, O. (2017, September 2017). [Telefongespräch zu CO2-Emissionen aus Erdölpipelines].

Bittman, S., Dedina, M., Howard, C. M., Oenema, O., & Sutton, M. A. e. (2014): *Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on*
Reactive Nitrogen. Edinburgh, UK. Retrieved from

BKG, B. f. K. u. G. (Cartographer) (2015). Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE2015

BLE, B. f. L. u. E. (2020): *Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2019*. Retrieved from: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Waldbrandstatistik/Waldbrandstatistik-2019.html

BLE, B. f. L. u. E. (2021): *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2020.* Bonn. Retrieved from https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/210211_StatistischesJahrbuch.html

BLfU (2011): *Den Boden fest im Blick - 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLfU).

Blum, U., & Heinbach, R. (2006): *Endbericht zum BZE Ringversuch Humus 2006*. Freising. Retrieved from http://bfh-web. fh-eberswalde. de/bze/front_content. php

Blum, U., & Heinbach, R. (2007): *Endbericht zum BZE Ringversuch Mineralboden 2007*. Freising. Retrieved from

BMBF, & UBA (Eds.). (1998). *Verbundvorhaben Deponiekörper*. Berlin.

BMEL, B. f. E. u. L. (2020). Massive Schäden - Einsatz für die Wälder. Retrieved from https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html

BMELF (2010): *Aufnahmeanweisung für die Inventurstudie 2008 im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung*. Bonn. Retrieved from

BMELV (2009): *Waldbericht der Bundesregierung 2009*. Berlin. Retrieved from www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldbericht2009.pdf?__blob

BMELV (2016): *Konzept zur Erstellung von THG Emissions- und Kohlenstoffinventaren der Quell- und Senkengruppen Landwirtschaft und LULUCF durch das Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) im Zuständigkeitsbereich des BMEL*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Berlin.

BMU (Ed.) (1990). *Eckwerte der oekologischen Sanierung und Entwicklung in den neuen Laendern*: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

Boelcke, B. (2007): *ERTRAGSPOTENZIAL UND ERTRAGSAUFBAU VON WEIDEN (SALIX) IN KURZUMTRIEBSPLANTAGEN*. http://www.landwirtschaft-

mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/feste_Brennstoffe/index.jsp?&artikel=3123

Bolte, A., Hertel, D., Ammer, C., Schmid, I., Nörr, R., Kuhr, M., & Redde, N. (2003): Freilandmethoden zur untersuchung von baumwurzeln. *Forstarchiv, 74*(6), 240-262.

Börjesson, P., & Berglund, M. (2007): Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy, 31*(5), 326-344.

Bösch, B., Kändler, G., Polley, H., Henning, P., & Schmitz, F. (2016): *WEHAM 2012 - Modelle und Algorithmen.*

Brown, T. J., Idoine, N. E., Raycraft, E. R., Hobbs, S. F., Shaw, R. A., Everett, P., Kresse, C., Deady, E. A., & Bide, T. (2019): *World Mineral Production 2013-2017*. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey (BGS).

BSRIA Limited (Versch. Jahrgänge): *World Market for Air Conditioning*.

Bundesgesetzblatt (2004): *Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand*

(Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung - DirektZahlverpflV). Bonn: Bundesgesetzblatt (BGBl) Retrieved from http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl104058.pdf

https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text_0&tocf=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist_0&bk=bgbl&start=%2F%2F*%5B%40node_id%3D%27952641%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1&sinst=5373C4B6.

Bundesgesetzblatt (2012): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist) *Teil I Nr. 58*: Bonn.

Bundesministerium für Verbraucherschutz, E. u. L. B. (1994): *Der Wald in den neuen Bundesländern - Eine Auswertung vorhandener Daten nach dem Muster der Bundeswaldinventur*. Bonn. Retrieved from

Bundesministerium für Verbraucherschutz, E. u. L. B. (2010): *Aufnahmeanweisung für die Inventurstudie 2008 im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung.* . Bonn. Retrieved from

Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, s. d. B. f. J. (1998): *BBodSchG: Bundesbodenschutzgesetz - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderung und zur Sanierung von Altlasten*. Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf.

Bundesverband Deutscher Bestatter, e. V. (2021): Informationen des Bundesverbandes Deutscher Bestatter e.V. zum Anteil der Feuerbestattungen.

Bundesverband Keramische Fliesen (2020). [Telefongespräch des UBA mit Jens Fellhauer (fellhauer@fliesenverband.de vom Bundesverband Keramische Fliesen e.V.) am 19.08.2020].

Burschel, P., Kürsten, E., & Larson, B. C. (1993): *Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt: Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland* (ISSN 0174-1810). Freising. Retrieved from

BV Glas (2020): Scherbeneinsatz in der Behälterglasindustrie 2019.

BVEG (2018). Jahresbericht des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Statistischer Bericht Retrieved from http://www.erdoel-erdgas.de/

BVEG (2021a). Jahresbericht des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Statistischer Bericht Retrieved from http://www.erdoel-erdgas.de/

BVEG (2021b): *Statistischer Bericht 2020*.

BVKalk (2021). [Mitteilung per E-Mail von Dr. Werner Fuchs am 5.7.2021].

BVL, B. f. V. u. L. (2022): *Absatzmengen von Wirkstoffen in Pflanzenschutzmitteln von 1987 bis 2020* [Excelfile]. Retrieved from: https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/03_PSMInlandsabsatzAusfuhr/psm_PSMInlandsabsatzAusfuhr_node.html

BWaldG: Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft

(Bundeswaldgesetz); „Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), das zuletzt durch Artikel

413 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist“zur Förderung der Forstwirtschaft, 2. (2015).

Cambou, A., Shaw, R. K., Huot, H., Vidal-Beaudet, L., Hunault, G., Cannavo, P., Nold, F., & Schwartz, C. (2018): Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Science of the total environment, 644*, 452-464.

Cech, M., Davis, P., Gambardella, F., Haskamp, A., González, P. H., Spence, M., & Larivé, J.-F. (2017). Performance of European cross-country oil pipelines - Statistical summary of reported spillages in 2015 and since 1971. Retrieved from https://www.concawe.eu/publication/performance-european-cross-country-oil-pipelines-statistical-summary-reported-spillages-2015-since-1971/

Clodic, D., & Barrault, S. (2011): *1990 to 2010 Refrigerant inventories for Europe - Previsions on banks and emissions from 2006 to 2030 for the European Union - Part A 1990 to 2010 refrigerant inventories for Europe*.

Clodic, D., Barrault, S., & Saba, S. (2012): *Global inventories of the worldwide fleets of refrigerating and airconditioning equipment in order to determine refrigerant emissions - The 1990 to 2006 Updating*.

Cools, N., Verschelde, P., Hinsch Mikkelsen, J., De Vos, B., & Quataert, P. (2006): *Quality assurance and quality control in forest soil analysis:4th fscc interlaboratory comparison*: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, L 375/1, European Communities, Pub. L. No. 31 12 (1991).

Cuhls, C., Mähl, B., Clemens, J., & Herrmann, T. (2015): *Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen*. Dessau-Roßlau.

Dämmgen, U., Amon, B., Gyldenkærne, S., Hutchings, N. J., Kleine Klausing, H., Haenel, H.-D., & Rösemann, C. (2011): Reassessment of the calculation procedure for the volatile solids excretion rates of cattle and pigs in the Austrian, Danish and German agricultural emission inventories. *Landbauforschung Völkenrode, 61*, 115-126.

Dämmgen, U., Amon, B., Hutchings, N. J., Haenel, H.-D., & Rösemann, C. (2012a): Data sets to assess methane emissions from untreated cattle and pig slurry and solid manure storage systems in the German and Austrian emission inventories. *Landbauforschung, 62*, 1-20.

Dämmgen, U., & Hutchings, N. J. (2005): *The assessment of emissions of nitrogen species from agriculture using the methodology of the atmospheric emission inventory guidebook* (9076998787). Wageningen. Retrieved from

Dämmgen, U., Lüttich, M., Döhler, H., Eurich-Menden, B., & Osterburg, B. (2002): GAS-EM–ein Kalkulationsprogramm für Emissionen aus der Landwirtschaft. *Landbauforschung Völkenrode, 1*(52), 19-42.

Dämmgen, U., Rösemann, C., Haenel, H.-D., & Hutchings, N. J. (2012b): Enteric methane emissions from German dairy cows. *Landbauforschung, 62*, 21-31.

Dämmgen, U., Schulz, J., Kleine Klausing, H., Hutchings, N. J., Haenel, H.-D., & Rösemann, C. (2012c): Enteric methane emissions from German pigs. *Landbauforschung, 62*, 83-96.

Daschner, R., Faulstich, M., & Quicker, P. (2010): *Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Abfallverbrennung* (pp. 93).

DAV (2016): Anzahl der Asphaltmischwerke in Deutschland.

DAV (2021): Asphaltproduktion in Deutschland.

DBFZ (2011): *Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft*.

De Vries, W., Reinds, G. J., Gundersen, P., & Sterba, H. (2006): The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in European forests and forest soils. *Global Change Biology, 12*(7), 1151-1173.

DEBRIV (2004, 15. September 2004) *Mitteilung vom Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. an das IKP Stuttgart/Interviewer: I. Stuttgart*. DEBRIV.

Dechow, R., & Freibauer, A. (2011): Assessment of German nitrous oxide emissions using empirical modelling approaches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 91*(3), 235-254. doi:10.1007/s10705-011-9458-9

DEHSt (2016). [Mitteilung per E-Mail von Detlef Bittner (Fachgebiet E 1.2) am 25.07.2016].

DEHSt (2017). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet E 1.2) am 02.08.2017].

DEHSt (2018). [Mitteilung per E-Mail von Fachgebiet E 1.2 am 27.07.2018].

DEHSt (2019). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet V 2.2) am 19.8.2019].

DEhSt (2020). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet V 2.2) am 6.7.2020].

DEhSt (2021). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet V 2.2) am 29.6.2021].

Deichnik, K. (2021): Aktualisierung und Revision des Modells zur Berechnung der spezifischen Verbräuche und Emissionen des von Deutschland ausgehenden Seeverkehrs. from Bundesamts fur Seeschifffahrt und Hydrographie

DESTATIS (2021). Genesis Datenbank, Tabelle 46321-0005.

DGE (2008): *Ernährungsbericht 2008*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE).

DGMK (1992): *Ansatzpunkte und Potentiale zur Minderung des Treibhauseffektes aus Sicht der fossilen Energieträger*. Hamburg. Retrieved from

DGMK (2002): *Zusammensetzung von Ottokraftstoffen aus deutschen Raffinerien*. UBA Bibliothek. Retrieved from

Diaz-Valbuena (2011): Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide Emissions
from Septic Tank Systems. *Environmental Science and Technology*.

Die Verbraucher Initiative e.V. (2005, 09.01.2013). Distickstoffmonoxid. *Zusatzstoffe-Online.de.* Retrieved from http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/284.e942_distickstoffmonoxid.html

DirektZahlVerpflV: Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 4. November 2004 (BGBl. I S. 2778), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 15. Dezember 2011 (eBAnz 2011 AT144 V1); Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand, (2004).

DLG (Ed.) (2005). *Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere* (1 ed. Vol. Band 199). Frankfurt/M.: DLG-Verlag.

DLG (Ed.) (2014). *Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere.* (2 ed. Vol. Band 199). Frankfurt/M.: DLG-Verlag.

Dlugokencky, E. (2021). Trends in Atmospheric Methane - Global CH4 Monthly Means. Retrieved from https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/

Döpelheuer, A. (2002): Anwendungsorientierte Verfahren zur Bestimmung von CO, HC und Ruß aus Luftfahrttriebwerken: DLR.

Drexhage, M., & Colin, F. (2001): Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry, 74*(5), 491-497.

Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021): Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Regional Environmental Change, 21*(3), 74. doi:10.1007/s10113-021-01798-8

Dreysse, T. (2015): *Vergleich des Bodenkohlenstoffmodells CANDY-Carbon-Balance (CCB) mit der Humusbilanzmethode nach VDLUFA am Beispiel von ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft.* (Diploma), Anhalt University of Applied Sciences and Thünen-Institute of Climate Smart Agriculture. Retrieved from www.vdlufa.de/kongress2015/KB2015_Web.pdf

DüV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. , (2007).

DüV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen published by BMEL (2017).

Düwel, O., Siebner, C. S., Utermann, J., & Krone, F. (2007): *Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR*. Hannover. Retrieved from https://download.bgr.de/bgr/Boden/HUMUS1000OB/Bericht/humus1000_ob_Bericht.pdf

TRGI - G 600 Arbeitsblatt 2018, published by DVGW (2018).

DVGW (2020). Methan-Emissionen aus dem Verteilnetz (ME-DSO). Retrieved from https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-me-dso/

DWA (2007): Merkblatt DWA-M 381

Eindickung von Klärschlamm.

DWA (ab 1988 - jährlich): Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen - jährliche Veröffentlichung.

DWD (2013, 26.07.2013). [Persönliche Mitteilung von Herrn Lux am 26.07.2013 "Gemittelte Erdbodentemperaturen in 1 m Tiefe in Deutschland"].

Ecofys & Environment Agency Austria (2017): *Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals*

GERMANY: 2016 and 2017 Submission. .

Edelmann, S. (2013): *Organischer Kohlenstoff in terrestrischen und semiterrestrischen Stadtböden - Eine Bilanzierung der organischen Kohlenstoffgehalte und -mengen in Abhängigkeit von der Flächennutzung im Berliner Stadtgebiet.* (Diploma), HU Berlin, Berlin.

Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McCormack, S. A., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2014): Land-cover effects on soil organic carbon stocks in a European city. *Science of the total environment, 472*, 444-453.

Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2012): Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific reports, 2*, 963.

EEA (2019): *Final Review Report. 2019 annual review of national greenhouse gas inventory data pursuant to Article 19(2) of Regulation (EU) No 525/2013. Germany.* .

EEA (2020): *Final Review Report. 2020 Comprehensive Review of National greenhouse gas inventory data pursuant to Article 4(3) of Regulation (EU) No 2018/842 and to Article 3 of Decision No 406/2009/EC. Germany.*

.

Einig, K., Jonas, A., & Zaspel, B. (2009): Eignung von CORINE-Geodaten und Daten der Flächenerhebung zur Analyse der Siedlungs-und Verkehrsflächenentwicklung in Deutschland. *Wirtschaft und Statistik, 4*, 355-364.

ElektroG: Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 20. Oktober 2015, (2015).

EMEP (2009): *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2009*. http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009

EMEP (2019): *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019* (EEA Report No 13/2019). Luxembourg. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019

EMEP/EEA (2019): *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2019* (EEA Report No 13/2019). Luxembourg. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019

Emthaus, C., Riewenherm, G., Rösmann, P., Heseker, A., Binder, M., Bleeser, R., & Radewahn, P. (2021a): Retrospektive Betrachtung der Fütterungs- und Futtertrends und der damit verbundene positive Entwicklungsverlauf der Stickstoffeffizienz in der Broilermast der Jahre 2000 bis 2020 mit rechnerischer Fortschreibung des Trends bis ins Jahr 2030, 15. Retrieved from https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/2021_06_21_DVT-Ad-hoc-Gruppe_Gefluegel_FINAL-a.pdf

Emthaus, C., Riewenherm, G., Rösmann, P., Heseker, A., Binder, M., Bleeser, R., & Radewahn, P. (2021b): Retrospektive Betrachtung der Fütterungs- und Futtertrends und der damit verbundene positive Entwicklungsverlauf der Stickstoffeffizienz in der Schweinemast der Jahre 2000 bis 2020 mit rechnerischer Fortschreibung des Trends bis ins Jahr 2030, 17. Retrieved from https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/2021_06_21_DVT-Ad-hoc-Gruppe_Schwein_FINAL-a.pdf

European Candle Association (2017): Consumption of candles in the European Union (EU 28) [Press release]. Retrieved from http://eca.ral-candles.eu/index.php?rubrik=19&topnav=8

European Commission (2007a): *Reference document on best available techniques (BAT) reference document (BREF) in the ceramic manufacturing industry*. European Commission Retrieved from http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/.

European Commission (2007b): *Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others industry*. European Commission Retrieved from http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lvic-s_bref_0907.pdf.

EUROPEAN COMMISSION DECISION of 27 April 2011 determining transitional Union-wide rules for harmonised free allocation of emission allowances pursuant to Article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council (2011/278/EU), 2011/278/EU. (2011).

European Parliament and Council of the European Union: Regulation (EC) No 1165/2008 concerning livestock and meat statistics and repealing Council directives 93/23/EEC, 93/24/EEC and 93/25/EEC, § Article 4 published by E. Union (2008).

European Parliament and Council of the European Union DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), Directive 2010/75/EU. (2010).

European Parliament and Council of the European Union Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013, Regulation (EU) 2018/842. published by O. J. o. t. E. Union (2018).

EXXON (2014). Förderung von Erdgas in Deutschland. Retrieved from http://www.erdgassuche-in-deutschland.de/erkundung_foerderung/produktion_von_erdgas/index.html

F-GasV: Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006, (2014).

FAO (2020): FAOSTAT-Forestry Database. from FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) http://faostat3.fao.org/home/E

FAO (2021): FAOSTAT. Retrieved 21.10.2021, from Food and Agriculture Organization of the United Nations http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA

FAOSTAT (ab 2015): FAOSTAT Protein supply quantity. from FAOSTAT http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS

Fehrenbach, H., Köppen, S., Markwardt, S., & Vogt, R. (2016): *Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen biogener Energienutzungspfade (BioEm).* Dessau-Roßlau. Retrieved from

Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P. J., Scharpf, H. C., SChlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., & Ziegler, J. (2011): *Düngung im Freilandgemüsebau* Großbeeren/Erfurt. Retrieved from https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf

Fichtner, W., Karl, U., & Hartel, R. (2011): *Fortschreibung der Emissionsfaktoren für Feuerungs- und Gasturbinenanlagen nach 13./17. BImSchV und TA Luft : Endbericht* (pp. X, 140).

Finnern, H. (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung: mit 91 Tabellen* (v. u. e. Aufl. Ed.). Stuttgart: Schweizerbart.

FNB (2020). Umsetzungsbericht zum Netzentwicklungsplan Gas der Fernleitungsnetzbetreiber. Retrieved from https://www.fnb-gas.de/netzentwicklungsplan/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2020/

FNB Gas (2021). Methanemissionen. Retrieved from https://fnb-gas.de/energiezukunft/methanemissionen/

FOEN, F. O. f. t. E. (2010): *Switzerland´s Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2008*. Bern, Switzerland Retrieved from

Forsell, N., Korosuo, A., Federici, S., Gusti, M., Rincón-Cristóbal, J., Rüter, S., Sánchez-Jiménez, B., Dore, C., Brajterman, O., & Gardiner, J. (2018): Guidance on developing and reporting Forest Reference Levels in accordance with regulation (EU) 2018/841. 2018.

Forsell, N., Korosuo, A., Gusti, M., Rüter, S., Havlik, P., & Obersteiner, M. (2019): Impact of modelling choices on setting the reference levels for the EU forest carbon sinks: how do different assumptions affect the country-specific forest reference levels? *Carbon balance and management, 14*(1), 1-18.

Fortmann, H., Rademacher, P., Groh, H., & Höper, H. (2012): *Tagungsband 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen*. Hannover. Retrieved from

Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., & Ließ, E. (2011): Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma, 166*(1), 119-134.

Fraver, S., Wagner, R. G., & Day, M. (2002): Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, USA. *Canadian Journal of Forest research, 32*(12), 2094-2105.

Gärtner, S., Münch, J., Reinhardt, G., & Vogt, R. (2008): *Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland* (FKZ: 0327544).

GASUNIE (2014). Verdichterstationen. Retrieved from http://www.erdgas-fuer-morgen.de/hoofdmenu/verdichterstationen

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006): *Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen.* Frankfurt/m.: Gesellschaft für Ernährungsphysiologie / Ausschuß für Bedarfsnormen.

GFZ, D. G. (2018). Pilotstandort Ketzin. Retrieved from http://www.co2ketzin.de/startseite/

Gibbs, M. J., & Woodbury, J. W. (1993): Methane and Nitrous Oxide: Methods in National Emissions Inventories and Options for Control : Proceedings, ed. A.R. van Amstel, 81-90. Amersfoort, The Netherlands, 3-5 February 1993.

GICON (2008): *Implementierung der Bilanz der Emissionsursachen auf Basis der MESAP-Datenbank*. nicht veröffnetlicht. Retrieved from

Gitzhofer, K., Bergmann, G., & Petermann, U. (2008): *Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Glas- und Mineralfaserindustrie*. Offenbach a.M. [u.a.].

Glas, B. (2021): Produktion von Glas 2020.

Global Carbon Project (2021). Global Carbon Project Website. Retrieved from https://www.globalcarbonproject.org/

Gores, S. (2021): *Inventartool zum deutschen Flugverkehrsinventar 1990-2020, im Rahmen der Aktualisierung des Moduls TREMOD-AV im Transportemissionsmodell TREMOD*.

Gottwald, Müller-Syring, & Hilbich (2012): *Verbesserung der Treibhausgasemissionsberichterstattung im Bereich "Gas, Verteilung" durch Datenerhebung und Datenbereitstellung*.

Gottwald, J., Dobritz, F., & Schneider, L. (2017): *Prüfung der Vollständigkeit der Berichterstattungskategorie 'Keramische Erzeugnisse' insbesondere Emissionsrelevanz feinkeramischer Teilbranchen (Evaluierung in CRF 2.A.4.a/NFR 2.A.6 AR-Keramik) Dokumentationen / Umweltbundesamt (UBA)* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pruefung-der-vollstaendigkeit-der

Graf, T., Beck, M., Mauermeier, M., Ismann, D., Portner, J., P., D., & Schmidhalter, a. U. (2014): Humulus lupulus – The Hidden Half. . *BrewingScience, 67*, 161–167.

Graf, T. M. (2016): *Tröpfchenbewässerung im Hopfenbau - Feldversuche, Physiologie und Rhizosphäre.* . Technische Universität München. Retrieved from https://mediatum.ub.tum.de/doc/1304504/1304504.pdf

Graichen, V., Harthan, R. O., & Repenning, J. (2005): *Analyse, Dokumentation und Überarbeitung der Bilanz der Emissionsursachen(BEU)*. Berlin [u.a.].

Grebe, S., Wulf, S., & Häußermann, U. (xxxx): *Dokumentation zur Datenaufbereitung der Aktivitätsdaten Biogas für den Nationalen Inventarbericht, Submission 2022*.

Greiner, B., Barghoorn, M., & Dobberstein, J. (1983): *Chemisch-physikalische Analyse von Hausmuell*.

Grosse, C. (2021): *Qualitätsprüfung der Texte für den Nationalen Inventarbericht 2022 und Datenerhebung in der Quellgruppe 1.B.2.b* (PNr. 156 527).

Grün, E., Schmelz, K.-G., & Schild, L. (2013): Klimarelevante Emissionen des Emschersystems. *KA Korespondenz Abwasser, Abfall, 60*(3), 200.

Grundner, F., & Schwappach, A. (1952): Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. Hrsg. SCHOBER, R: Paul Parey Verlag.

Grüneberg, E., Ziche, D., & Wellbrock, N. (2014): Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology, 20*(8), 2644-2662.

Gschrey, B., Schwarz, W., Kimmel, T., Zeiger, B., & Reitz, S. (2015): *Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in die Inventarerhebung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF6, NF3)* (1862-4359). Dessau-Roßlau. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/implementierung-der-ab-dem-berichtsjahr-2013

Gschrey, B., Warncke, K., & Osterheld, S. (2018): *Inventarermittlung der F-Gase 2017/2018 - Daten von HF(C)KW, FKW, SF6, NF3, SF5CF3, H(C)FE und PFPMIE für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2017 und 2018*. Frankfurt am Main. Retrieved from

Gujer, W. (2006): *Siedlungswasserwirtschaft* (3., bearb. Aufl. ed.). Berlin: Springer.

Gurgel, A. (2011): Ergebnisse der Versuche mit schnellwachsenden Baumarten nach 18 Jahren Bewirtschaftung in Gülzow *Tagungsband* (Vol. 5, pp. 2-3): Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und

Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.

Haas, W. (2015): *Kraftstoffpermeation an Zapfsäulen*.

Haenel, H.-D., Dämmgen, U., & Rösemann, C. (2011): Estimating numbers of piglets, weaners and fattening pigs for the German agricultural emission inventory. *Landbauforsch, 61*, 229-236.

Haenel, H.-D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., & Osterburg, B. (2020a): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2018. Report on methods and data (RMD). Submission 2020. Thünen Report 77* (pp. 448). Retrieved from https://www.thuenen.de/de/infothek/publikationen/thuenen-report/ doi:10.3220/REP1584363708000

Haenel, H.-D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2020b): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2018. Report on methods and data (RMD). Submission 2020. Thünen Report 77*

Haenel, H.-D., & Wulf, S. (2016): *Berechnung von CH_4-, N_2O-, NO-, N_2- und NH_3-Emissionen durch Vergärung von Gülle, Mist und Energiepflanzen ab Emissionsberichterstattung 2015.* Thünen-Institut, Braunschweig, und KTBL, Darmstadt. . Unveröffentlichtes Manuskript.

Haenel, R., et al (2020): *Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2018*.

Hafner, I. A., Gabrielii, C., & Widell, K. (2019): *Refrigeration units in marine vessels: Alternatives to HCFCs and high GWP HFCs*: Nordic Council of Ministers.

Handke, V., Degel, M., Hohlfeld, A., & Kathöfer, V. (2013): *International Workshop "Comparing ETS and NIR Monitoring Data" : 26th and 27th September 2011*. Dessau-Roßlau.

Handke, V., Joerss, W., Pfitzner, R., Brinkschneider, F., & Schollenberger, H. (2004): Das Qualitäts-System-Emissionsinventare-Handbuch. *Report to the German Federal Environment Agency (UBA), FKZ 202 42 266*, 266.

Harthan, R. O., Anderson, G., & Böttcher, H. (2017): *Methodische Anpassung der deutschen THG-Emissionsinventare an die überarbeiteten "UNFCCC" reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention*. Dessau-Roßlau.

Hasenbalg, C., & Sohnke, R. (2021): *Recherche des Festbrennstoffeinsatzes in deutschen Dampfbahnen 2019 & 2020.* Report. Probst & Consorten.

Hedel, R., & Kunze, J. (2012): *Recherche des jährlichen Kohleeinsatzes in historischen Schienenfahrzeugen seit 1990*. Probst & Consorten Marketing-Beratung. Dresden.

Heilwig, R. (2002): Fahrleistungen und Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr. *DIW Wochenbericht*(51/52), 881.

Henrichsmeyer, W., Cypris, C., L¨ohe, W., Meudt, M., Sander, R., von Sothen, F.,, Isermeyer, F., Schefski, A., Schleef, K.-H., Neander, E., Fasterding, F., Helmcke, B.,, & Neumann, M., Nieberg, H., Manegold, D., Meier, T. (1996):

Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodellls RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021). Bonn/Braunschweig. Retrieved from

Hensmann, M., Haardt, S., & Ebert, D. (2011): *Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung* (FKZ 3707 42 301). http://www.uba.de/uba-info-medien/4362.html

Hensmann, M., Haardt, S., & Ebert, D. (2012): *Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung* (Stand: Juli 2012 ed.). Dessau-Roßlau.

Herold, A., Anderson, G., & Jörß, W. (2016): *Implications of the changed reporting requirements of the Effort Sharing Decision for the EU ETS and the national GHG inventory : work package 1: comparison of ETS and IPCC Climate Change / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_13_2016_implications_of_changed_reporting_requirements.pdf

http://webde/gruppen/bibliothek/Onlinebuecher/EB012194.pdf

Herold, A., Jörß, W., Koch, M., & Scheffler, M. (2014): *Methodische Anpassung der deutschen THG-Emissionsinventare an die überarbeiteten „UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention“* (FKZ: 3712 41 103-2). Berlin. Retrieved from

Hoffmann, G., Wünsch, C., Schnapke, A., & Sieck, M. (2011): *Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung*. Dessau-Roßlau.

Höper, H., & Schäfer, W. (2012): Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralboden fur den Klimaschutz. *Bodenschutz, 3*(12), 72-80.

Horn, H. (2013). Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen in Sachsen. Retrieved from https://www.landwirtschaft.sachsen.de/.../2013_11_28_Vortrag_Horn_Nossen.pdf

Illichmann, S. (2016): *Recherche des Festbrennstoffeinsatzes historischer Schienenfahrzeuge in Deutschland 2015*. Probst & Consorten Marketing-Beratung. Dresden.

Insitut, T. (2019): *Lebensmittelabfälle in Deutschland, Baseline 2015, Thünen Report 71* (REP1563519883000).

Institut für Umweltschutz (Ed.) (1990). *Umweltbericht der DDR : Informationen zur Analyse der Umweltbedingungen in der DDR und zu weiteren Massnahmen* (1. Aufl. ed.). Berlin (Ost): Visuell-Verl.

International Soil Reference Information Centre (1990): *Soil Map of the World: Revised Legend* (925102622X). Rome. Retrieved from

IPCC (2000): *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Montreal. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html

IPCC (2003): *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Montreal. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html

IPCC (2006a): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IPCC (2006b): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (N. G. G. I. Programme, E. H.S., B. L., M. K., N. T., & T. K Eds.). Japan: IGES.

IPCC (2014): *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.* Switzerland. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf

IPCC (2015): *Climate change 2014: synthesis report* (R. K. Pachauri, L. Mayer, & I. P. o. C. Change Eds.). Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2019a): *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

IPCC (2019b): Refinements: CHAPTER 6
WASTEWATER TREATMENT AND DISCHARGE.

IPCC, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014a): *2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol.* Switzerland. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html

IPCC, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014b): *2013 Supplement to the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.* Switzerland. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html

IPCC, Houghton, J. T., Meira Filho, L., Lim, B., Treanton, K., & Mamaty, I. (1997): *Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. v. 1: Greenhouse gas inventory reporting instructions.-v. 2: Greenhouse gas inventory workbook.-v. 3: Greenhouse gas inventory reference manual*. Montreal. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html

Jacobs, A., Flessa, H., Don, A., Heidkamp, A., Prietz, R., Dechow, R., Gensior, A., Poeplau, C., Riggers, C., Schneider, F., Tiemeyer, B., Vos, C., Wittnebel, M., Müller, T., Säurich, A., Fahrion-Nitschke, A., Gebbert, S., Hopfstock, R., Jaconi, A., Kolata, H., Lorbeer, M., Schröder, J., Laggner, A., Weiser, C., & Freibauer, A. (2018): *Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung*. Braunschweig. Retrieved from

Jamet, M., & Knörr, W. (unveröffentlicht): *Überleitung der Fahrleistungserhebung 2014 nach TREMOD - Entwurf des Endberichts zum Forschungsprojekt 84.0523 der BASt*.

JARN (Versch. Jahrgänge): Special Edition “World Air Conditioner Market". *Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, Tokyo 107-0052*.

Jarvis, S., & Pain, B. (1994): Greenhouse gas emissions from intensive livestock systems: their estimation and technologies for reduction. *Climate Change: Significance for Agriculture and Forestry, 27*, 27-38.

Joas, D. R., Potrykus, A., Schott, R., & Wenzel, S. (2004): *VOC-Minderungspotenzial beim Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen* (FKZ 202 44 372). Berlin. Retrieved from http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2637.pdf

Johansson, T., & Hjelm, B. (2012): Stump and root biomass of poplar stands. *Forests, 3*(2), 166-178.

Jörß, W., & Gronewäller, L. (2010): *Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung : Schlussbericht*. Berlin [u.a.].

Juhrich, K., & Wachsmann, U. (2007): *Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsdaten für die Berichte über Emissionen aus stationären Feuerungen im Rahmen des Nationalen Inventarberichtes und des Monitoring Mechanismus nach RL EG 99/296*. Dessau.

Kaltschmitt, M. (2007): *Umwelteffekte einer geothermischen Stromerzeugung - Analyse und Bewertung der klein- und großräumigen Umwelteffekte der geothermischen Stromerzeugung* (FKZ 205 421 10). Hamburg Harburg. Retrieved from

Kändler, G., & Bösch, B. (2013): *Methodenentwicklung für die 3. Bundeswaldinventur: Modul 3 Überprüfung und Neukonzeption einer Biomassefunktion—Abschlussbericht*.

Keller, M., Hausberger, S., Matzer, C., Wüthrich, P., & Notter, B. (2017): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) Version 3.3. from MK Consulting GmbH, INFRAS AG & IVT / TU Graz http://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA33_Hintergrundbericht.pdf http://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA33_Documentation_20170425.pdf

Kern, J., Hellebrand, H. J., Scholz, V., & Linke, B. (2010): Assessment of nitrogen fertilization for the CO 2 balance during the production of poplar and rye. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(5), 1453-1460.

Kiesel, F. K., Martina (2019): *139. Gasstatistik 2017*. Berlin, Bonn. Retrieved from

Kiesel, F. K., Martina (2020): *140. Gasstatistik 2018*. Berlin, Bonn. Retrieved from

Kirchgessner, M., Roth, F. X., Schwarz, F. J., & Stangl, G. (2008): *Tierernährung*. Frankfurt am Main, Germany: DLG - Verlags Union Agra.

Kirchgessner, M., Windisch, W., & Müller, H.-L. (1994): *Methane release from dairy cows and pigs*: Paper presented at the Proc XIII Symp on energy metabolism of farm animals.

Klingenfuß, C., Klein, D.-P., Thrum, T., Fell, H., Klemm, J., & Zeitz, J. (2020): Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin.

Knörr, W., Allekotte, M., & Gores, S. (2021a): *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2021 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg, Berlin: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH & Öko-Institut e.V.

Knörr, W., Heidt, C., & Bergk, F. (2021b): TREMOD Mobile Machinery (TREMOD MM) 2021. from Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

Knörr, W., Heidt, C., Gores, S., & Bergk, F. (2021c): *TREMOD - Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035*. Heidelberg [u.a.]: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

Knörr, W., Heldstab, J., & Kasser, F. (2009): *Ermittlung der Unsicherheiten der mit den Modellen TREMOD und TREMOD-MM berechneten Luftschadstoffemissionen des landgebundenen Verkehrs in Deutschland : Endbericht / Autoren: Wolfram Knörr*: Heidelberg [u.a.] 2009.

Knörr, W., Höpfner, U., & Lambrecht, U. (2002): *Aktualisierung des "Daten- und Rechenmodells":Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020 : Endbericht / Wolfram Knörr (Projektleiter)*: Heidelberg [u.a.] 2002.

Knörr, W., Schacht, A., & Gores, S. (2015): *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2015 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg, Berlin: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH & Öko-Institut e.V.

Knörr, W., Schacht, A., Gores, S., Kotzulla, M., & Wetzel, F. (2012): *Entwicklung eines eigenständigen Modells zur Berechnung der Energieeinsätze und Emissionen des zivilen Flugverkehrs - (TREMOD-AV) / von Wolfram Knörr ; Alexander Schacht ; Sabine Gores*: Dessau-Roßlau 2012.

Koj (2021, 08.09.21). [Persönliche Mitteilung Hr. Koj (BAFA) zur Tanklagererhebung].

König, H. C. (2007): *Waldbrandschutz-Kompendium für Forest und Feuerwehr*. Berlin. Retrieved from

König, N., Blum, U., Symossek, F., Bussian, B., Ellinghaus, R., Furtmann, K., Gärtner, A., Gutwasser, F., Hauenstein, M., & Kiesling, G. (2005): *Handbuch forstliche Analytik*. Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.

Körschens, M., Rogasik, J., Schulz, E., Böning, H., Eich, D., Ellerbrock, R., Franko, U., Hülsbergen, K., Köppen, D., & Kolbe, H. (2004): *Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland*. Bonn. Retrieved from

Kraftfahrtbundesamt (Versch. Jahrgänge): *Fahrzeugzulassungen Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter*.

Kreißig, J. (1996): *Ganzheitliche Bilanzierung von Dachbahnen aus Bitumen : Kurzbericht*. Frankfurt am Main.

Krismann, A., & Hennenberg, K. (2012): Umsetzung der Biodiversitätsziele bei der nachhaltigen Bioenergienutzung (Kurztitel: BfN-Biodiv-Ziele).

KrWG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, 22. (2012).

KTBL (2020): *Berechnung des Anfangsgewichts der Milchkuh*.

Lechtenböhmer, S., Dienst, C., Fischedick, M., Hanke, T., Langrock, T., Assonov, S. S., & Brenninkmeijer, C. (2005): Treibhausgasemissionen des russischen Erdgas-Exportpipeline-Systems : Ergebnisse und Hochrechnungen empirischer Untersuchungen in Russland ; Endbericht.

Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Buttermann, H.-G., & Hillebrand, B. (2006a): *Bilanzierung der Gewinnung und Verwendung von Kalkstein und Ausweisung der CO2-Emissionen*. Dessau.

Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Buttermann, H.-G., & Hillebrand, B. (2006b): *Bilanzierung der Gewinnung und Verwendung von Kalkstein und Ausweisung der CO2-Emissionen (Forschungsbericht 205 41 217/02, UBA-FB 000949205 41 217/02)* (20/06). Wuppertal, Münster. Retrieved from http://www.eefa.de/pdf/UBA-Texte_29_06.pdf

Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Hillebrand, B., & Buttermann, H.-G. (2006c): *Einsatz von Sekundärbrennstoffen : Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase, Teilvorhaben 02*. Dessau.

Lenk, T., Vogelbusch, F., & Falken, C. (2004): *Auswirkungen des Tanktourismus auf das deutsche Steueraufkommen – eine finanzwissenschaftliche Bestandsaufnahme.*: Paper presented at the UNITI Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V. - Mitgliederversammlung 2004, München.

Leverenz (2010): *Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Septic Systems*.

LfL Bayern (2006). Untersuchungen zur tiergerechten Kaninchenmast. Retrieved from https://www.lfl.bayern.de/ilt/tierhaltung/kleintiere/023092/index.php

LfL Bayern (2009): Wirtschaftsdünger und
Gewässerschutz.

Linde Gas (2017). Branchen - Lebensmittel & Getränke - Milchprodukte. Retrieved from http://www.linde-gas.de/de/industries/food_and_beverage/dairy/index.html

Liski, J. (1995): *Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a boreal forest stand–effect of trees and implications for sampling* (0037-5330).

Liski, J., Perruchoud, D., & Karjalainen, T. (2002): Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management, 169*(1), 159-175.

Luftfahrt-Bundesamt (Versch. Jahrgänge): *Bestand an Luftfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland*.

Luo, Z., Wang, E., & Sun, O. J. (2010): Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 139*(1), 224-231.

Maazallahi, H., Fernandez, J. M., Menoud, M., Zavala-Araiza, D., Weller, Z. D., Schwietzke, S., von Fischer, J. C., Denier van der Gon, H., and Röckmann, T. (2020). Methane mapping, emission quantification and attribution in two European cities; Utrecht, NL and Hamburg, DE; Atmos. Chem. Phys. Discuss.,. Retrieved from https://doi.org/10.5194/acp-2020-657

Maier, J., & Vetter, R. (2004). *Erträge und Zusammensetzung von Kurzumtriebs-Gehölzen (Weide, Pappel, Blauglockenbaum).* Paper presented at the Energieholzproduktion in der Landwirtschaft : Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie, Postdam.

Marx, M., Jörg Rinklebe, Kastler, M., Molt, C., Kaufmann-Boll, C., Lazar, S., Lischeid, P. D. G., Schilli, C., & Körschens, M. (2016): *Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus Sicht des Bodenschutzes: Teil 3: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands*. Dessau. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-fachlicher-rechtlicher-0

Mathivanan, G. P., Eysholdt, M., Zinnbauer, M., Rösemann, C., & Fuß, R. (2021): New N2O emission factors for crop residues and fertiliser inputs to agricultural soils in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 322*, 12

Matthäi, D. M., & Petereit, D. N. (2004): Die Qualitätskerze *Sonderdruck*. Jahrbuch für den Praktiker 2004: ECA.

Matthäi, M., Gutberlet, H., Feller, K.-H., Schimmelpfennig, M., & Stübiger, M. (2010): Messung der Lichtstärke von Kerzen unterschiedlicher Zusammensetzung: Westdeutsche Dochtfabrik GmbH; Sasol Wax GmbH; FH Jena.

Meiners, H. (2005) *persönliche Mitteilung am 28.09.2005 - basierend auf dem Forschungsbericht FKZ 203 41 253/05 "Teilbereich 1 – Prognostische Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen"/Interviewer: M. Hüllenkrämer*. DMT, Gelsenkirchen.

Meiners, H. O., Michael; Kerber, Vitali (2018): *Vertwerten von Grubengas als Beitrag zur Emissionsvermeidung und zur Gefahrenabwehr*. Essen. Retrieved from http://www.grubengas.de/german/DMT_Gutachten%20Emissionsvermeidung+Anlagen.pdf

Mell, D. W.-D. (2008): *Strukturen im Bootsmarkt*.

Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Mücher, C. A., & Watkins, J. W. (2005): A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography, 14*(6), 549-563. doi:10.1111/j.1466-822x.2005.00190.x

Mokany, K., Raison, R., & Prokushkin, A. S. (2006a): Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology, 12*(1), 84-96.

Mokany, K., Raison, R. J., & Prokushkin, A. S. (2006b): Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology, 12*(1), 84-96.

Molitor, R., Hausberger, S., & Benke, G. (2004): Abschätzung der Auswirkungen des Tanktourismus auf den Treibstoffverbrauch und die Entwicklung der CO2-Emissionen in Österreich. *Endbericht im Auftrag des Lebensministeriums*.

Müller-Syring, & Schütz (2014): *THG-Minderungspotenziale in der europäischen Gasinfrastruktur*.

Müller-Using, S., & Bartsch, N. (2009): Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (Fagus sylvatica L.) forest in Central Germany. *European journal of forest research, 128*(3), 287-296.

Müller, R. (2016, 25.08.2016). [Anteil Dolomit an der Düngekalkgesamtmenge, Düngekalkhauptgemeinschaft. Persönliche Mitteilung].

MWV (2019). Jahresbericht 2019. Retrieved from https://www.mwv.de/publikationen/jahresberichte/

MWV (2020a). Jahresbericht 2019 / Mineralöl-Zahlen. Retrieved from https://www.mwv.de/publikationen/jahresberichte/

MWV (2020b): Jahresbericht 2020 [Press release]

MWV (2021a). Jahresbericht 2020 / Mineralöl-Zahlen. Retrieved from https://www.mwv.de/publikationen/jahresberichte/

MWV (2021b): Jahresbericht 2021 [Press release]

Nabuurs, G., & Schelhaas, M. (2002): Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. *Ecological Indicators, 1*(3), 213-223.

NaSE-Workshop (2004, November 2004). [NaSe Workshop 2004].

Neubauer, M., & Demant, B. (2016): Wurzeln als Kohlenstoffspeicher: Untersuchungen zur unterirdischen Biomasse von Birke, Eiche und Kiefer. Germany, Europe: Universitätsdruckerei Freiburg, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Neulicht, R. (1995): *Emission Factor Documentation for AP-42 Section 10.7 "Charcoal"*. https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch10/

Neumann, J., & Wycisk, P. (2002). Mittlere jährliche Grundwasserneubildung *Bundesrepublik Deutschland Nationalatlas – Relief, Boden und Wasser.* (pp. 144-145). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Nielsen (2010): *Emissions from decentralised CHP plants 2007 - Energinet.dk Environmental project no. 07/1882*.

Notter, B., Keller, M., Althaus, H.-J., Cox, B., Knörr, W., Heidt, C., Biemann, K., Räder, D., & Jamet, M. (2019): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) Version 4.1. from INFRAS - Research and Consulting https://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA41_Development_Report.pdf

Oonk, H., & Lambert, C. (2017): *Greenhouse Gas Emissions from Biological Treatment of Waste - Overwiew of Existing Measurements*. Literaturrecherche. Unpublished.

Ornellas, D. L. (1982, 05.04.1982). *Calorimetric Determinations of the Heat and Products of Detonation for Explosives: October 1961 to April 1982*. Technical Report, (AD-A409329; UCRL-52821; NASA/STI Accession number: 20030014092). Livermore.

Osowski, S., Neumann, J., & Fahlenkamp, H. (2004): Nutzung biogener Festbrennstoffe in Vergasungsanlagen. *Chemie Ingenieur Technik, 76*(7), 1004-1012.

Penman, J., Kruger, D., & Calbally, I. (Eds.). (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories : IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies.

Pistorius, T., Zell, J., & Hartebrodt, C. (2007): *Untersuchungen zur Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt des Landes Baden-Württemberg*.

Plinke, E., & Schonert, M. (2000): *Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens zur Ermittlung der verbrennungsbedingten CO2-Emissionen in Deutschland*. Basel.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., & Gensior, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone -

carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology, 17*(7), 2415-2427. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x

Polley, H. (2001): *Aufnahmeanweisung für die Bundeswaldinventur II: (2001-2002)*. Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.

Pöpken, S. (2011): *Obstanbau, Weinbau und Weihnachtsbaumkulturen in Deutschland.* .

Portner, J., Rossbauer, G., & Bauer, M. (2019). [Nährstoffaufnahme des Hopfens.].

Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D., & Golubiewski, N. E. (2009): A comparison of soil organic carbon stocks between residential turf grass and native soil. *Urban Ecosystems, 12*(1), 45-62. doi:10.1007/s11252-008-0059-6

Prietzel, J., Stetter, U., Klemmt, H.-J., & Rehfuess, K. E. (2006): Recent carbon and nitrogen accumulation and acidification in soils of two Scots pine ecosystems in Southern Germany. *Plant and soil, 289*(1-2), 153-170.

Raciti, S. M., Hutyra, L. R., & Finzi, A. C. (2012): Depleted soil carbon and nitrogen pools beneath impervious surfaces. *Environmental Pollution, 164*, 248-251.

Rentz, O., Karl, U., & Peter, H. (2002): *Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010*. Karlsruhe.

Rettenberger, G., Stegmann, R., & Butz, W. (Eds.). (1997). *Neue Aspekte bei der Deponiegasnutzung : Innovation in Forschung und Verfahren*. Bonn: Economica Verl.

Riedel, T., Stümer, W., Freibauer, A., Rüter, S., Dunger, K., Steuk, J., & Brötz, J.,, Hennnig, P., Dunger, K., & Bolte, A. (2019): *Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsenke*.

Röhling, S., Dunger, K., Kändler, G., Klatt, S., Riedel, T., Stümer, W., & Brötz, J. (2016): Comparison of calculation methods for estimating annual carbon stock change in German forests under forest management in the German greenhouse gas inventory. *Carbon balance and management, 11*(1), 12.

Röhling, S., & Kludt, R. (2010): *Ableitung der Kalksteinbilanz aus den statistischen Daten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe für Zwecke der Emissionsberichterstattung nach Klimarahmenkonvention und Kyoto Protokoll (Kategorie CRF 2.A.3)*. Dessau-Roßlau.

Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2021): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2019. Report on methods and data (RMD). Submission 2021. Thünen Report 84* Retrieved from https://www.thuenen.de/de/ak/arbeitsbereiche/emissionsinventare/

Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Freibauer, A., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Döhler, H., Schreiner, C., & Osterburg, B. (2015): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2013*. In Thünen-Institut (Series Ed.) *Thünen Report*

Roßkopf, N., Fell, H., & Zeitz, J. (2015): Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena, 133*, 157-170. doi:10.1016/j.catena.2015.05.004

Roth, U., Döhler, H., Hartmann, S., & Wulf, S. (2011): Treibhausgasbilanzen und CO2eq-Vermeidungskosten landwirtschaftlicher Biogasanlagen. *Biogas in der Landwirtschaft—Stand und Perspektiven. KTBL-Schrift, 488*, 196-208.

Rothe, B. (2017, 01.06.2017). [Keramik: ETS-Emissionsdaten].

Ruppert, J., Scheuer, W., & Schäfer, S. (2009): *Bereitstellung einer qualitätsgesicherten Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung zur Umsetzung von internationalen Luftreinhalte- und Klimaschutzvereinbarungen für ausgewählte Industriebranchen: Teilvorhaben 03 Zementindustrie (FKZ 370742301/03)* (FKZ 370742301/03). Düsseldorf. Retrieved from

Rüter, S. (2011): *Projections of Net-Emissions From Harvested Wood Products in European Countries*. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn048901.pdf

Rüter, S. (2017): *Der Beitrag der stofflichen Nutzung von Holz zum Klimaschutz – Das Modell WoodCarbonMonitor.*, Technische Universität München. Retrieved from https://mediatum.ub.tum.de/doc/1295127/1295127.pdf

Rüter, S., Alfredsen, G., Ximenes, F. d. A., Guendehou, S., Pingoud, K., & Tsunetsugu, Y. (2014). Section 2.8: Harvested Wood Products (HWP). In J. Jenkins & J. Li (Eds.), *2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol* - (pp. 109-134). Switzerland: IPCC.

Schmitz, F., Polley, H., & Schwitzgebel, F. (2005). Die zweite Bundeswaldinventur–BWI2: Der Inventurbericht. Retrieved from literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041201.pdf

Schmutz, B. I. (2009, 28.09.2009). [Interessengemeinschaft für Esel und Maultiere, persönliche Mitteilung].

Schön, M., Walz, R., Angerer, G., Bätcher, K., Böhm, E., Hillenbrand, T., Hiessl, H., Reichert, J., Paoli, M., & Sartorius, R. (1993): *Emissionen der Treibhausgase Distickstoffoxid und Methan in Deutschland : Emissionsbilanz, Identifikation von Forschungs- und Handlungsbedarf sowie Erarbeitung von Handlungsempfehlungen ; Phase 1*. Berlin: E. Schmidt.

Schöning, I., Totsche, K. U., & Kögel-Knabner, I. (2006): Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma, 136*(3), 631-642.

Schulz, S. (2012): *Einflüsse auf die Bauzeit im Hochbau: Ursachen und Folgen der Einflussfaktoren vor und während der Bauausführung von Neubauten. S. 230.* (Masterarbeit), Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Schulze, E., Hogberg, P., Van Oene, H., Persson, T., Harrison, A., Read, D., Kj0ller, A., & Matteucci, G. (2000): 21 Interactions Between the Carbon and Nitrogen Cycles and the Role of Biodiversity: A Synopsis of a Study Along a North-South Transect Through Europe. *Ecological studies, 142*, 468-492.

Schwarz, W. (2007): *Daten von H-FKW, FKW und SF6 für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2004 und 2005 - F-Gas-Emissionen 2004/2005 und Unsicherheitsbestimmung im ZSE*. Dessau. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-von-h-fkw-fkw-sf6-fuer-nationale?anfrage=Kennummer&Suchwort=3439

Schwarz, W. (2009): *SF6 und NF3 in der deutschen Photovoltaik-Industrie - Inventarverbesserung 2008 – Verbesserung und Ergänzung der Daten für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention in der Quellgruppe Photovoltaik (2.F.8.h)* (FuE-Vorhaben FKZ 360 16 027). Frankfurt am Main. Retrieved from

Schwitzgebel, F., Dunger, K., & Polley, H. (2009): Die Inventurstudie 2008. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. Hintergrund, Methodik und Durchführung der Studie. *AFZ Waldwirtsch Umweltvorsorge, 64*, 1070-1071.

Schwitzgebel, F., & Riedel, T. (2019): Die Kohlenstoffinventur 2017 – Methode, Durchführung, Kosten. *AFZ Waldwirtsch Umweltvorsorge, 14*, 3.

Senser, F., & Scherz, H. (1991): *Der Kleine "Souci-Fachmann-Kraut", Lebensmitteltabelle für die Praxis.*

Siegl, W., J Wallington, T., T Guenther, M., Henney, T., Pawlak, D., & Duffy, M. (2002): R-134a Emissions from Vehicles. *Environ. Sci. & Technol., 36*, 561-566. doi:10.1021/es011108x

Six, J., Conant, R., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002): Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil, 241*(2), 155-176.

SKM Enviros (2010): *Eco-Efficiency Study of Supermarket Refrigeration - For the European Partnership for Energy and Environment (EPEE)*. London, UK. Retrieved from

Sobotik, M., Graf, T., Himmelbauer, M., Bodner, G., Bohner, A., & Loiskandl, W. (2018): In-situ Beschreibung des Wurzelsystems von Hopfen und Mais über Freilegung am Bodenprofil. . *Die Bodenkultur -Journal of Land Management, Food and Environment, 69*(2), 121-130.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Miller, H. L. (Eds.). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Spiekers, H. (2019, 05.09.2019). [Experteninformation zu Nährstoffgehalten im Rinderfutter, persönliche Mittteilung].

Spielmanns, R. (2020, 20.05.2020). [Tierzahlen Rinder, persönliche Mitteilung].

Sponagel, H. (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung : mit 103 Tabellen* (A.-h.-A. B. d. S. G. D. u. d. B. f. G. u. Rohstoffe Ed. 5., verb. und erw. Aufl. ed.). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Spörl, R. (2009): *Revision des BVT-Merkblattes für die Papier- und Zellstoffherstellung: Vergleichbarkeit von Berichtsdaten : Teilbericht 2 / bearb.: Rainer Spörl*: Heidenau [u.a.] 2009.

Statistik der Kohlenwirtschaft (2021). Herstellung von Braunkohlenbriketts, Braunkohlenkoks, Staub-, Trocken- und Wirbelschichtkohle nach Revieren. Retrieved from http://www.kohlenstatistik.de/3-0-Uebersichten.html

Statistikportal (Statistische Ämter des Bundes und der Länder) (2010): Landwirtschaftszählung. Retrieved 14.09.2020, from Statistikportal (Statistische Ämter des Bundes und der Länder) https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/landwirtschaftszaehlung-2010

Statistisches Bundesamt (1992): *Statistisches Jahrbuch 1992 für die Bundesrepublik Deutschland* (3824602385). Stuttgart Retrieved from http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat04356a&AN=fuu.02025892&lang=de&site=eds-live

Statistisches Bundesamt (2008): Umsteigeschlüssel zwischen der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003 (WZ 2003), und der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008) und umgekehrt. www.destatis.de.

Statistisches Bundesamt (2017): Persönliche Mitteilung von Herrn Kaiser; E 207; Deutschland - Erhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas, vom 28.08.2017.

Statistisches Bundesamt (2018): Abfallentsorgung (ehemals Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung). from Statistisches Bundesamt

Statistisches Bundesamt (2020): Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft. GENESIS-Online Datenbank Retrieved 12.05.2020, from Statistisches Bundesamt, https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Tabellen/baufertigstellungen.html

Statistisches Bundesamt (2021a): Abfallentsorgung (ehemals Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung). from Statistisches Bundesamt

Statistisches Bundesamt (2021b): *Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarb. Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (060)*.

Statistisches Bundesamt (2021c): *Jahreserhebung über die Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (067)*.

Statistisches Bundesamt (2021d): *Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur Öffentlichen Versorgung*.

Statistisches Bundesamt (ab 2010): Abwasserbehandlung, Klärschlamm, Ergebnisbericht; jährlich.

Statistisches Bundesamt (ab 2012). [Persönliche Mitteilung von DESTATIS-Mitarbeitern aus FG E 207; Deutschland - Erhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas; jährlich].

Statistisches Bundesamt (ab 2013): Online Zusammenstellung von DESTATIS - Wasserwirtschaft: Klärschlammentsorgung aus der öffentlichen Abwasserbehandlung; jährlich. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/TabellenKlaerschlammverwertungsart.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3a): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung Retrieved 14.09.2020 https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-3.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3b): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (div. Jgg.). https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/BodennutzungErzeugung.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.2): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei,– Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen) (div. Jgg.). https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/LandwirtschaftlicheNutzflaeche.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.4): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei,– Landwirtschaftliche Bodennutzung - Baumobstflächen https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ObstGemueseGartenbau/Baumobstflaechen.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung - Baumschulerhebung (div. Jgg.). https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ObstGemueseGartenbau/Baumschulerhebung.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.2.1): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte (div. Jgg.). https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/LandwirtschaftlicheNutzflaeche.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.2.2): *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben - Erhebung zur Wirtschaftsdüngerausbringung (div. Jgg.)*.

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.3.1): Land- und Forstwirtschaft, Forstwirtschaftliche Bodennutzung - Holzeinschlagsstatistik. https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-3.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 4): Land- & Forstwirtschaft, Fischerei Viehbestand und tierische Erzeugung (div. Jgg.). https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/ViehbestandtierischeErzeugung.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 4.1): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Viehbestand. Retrieved 14.09.2020, from Statistisches Bundesamt https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-3.html

Statistisches Bundesamt (FS 3, R 5.1): *Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung*. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Publikationen/Downloads-Flaechennutzung/bodenflaechennutzung-2030510177004.html

Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1): Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (div. Jgg.). https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Konjunkturdaten/ProduktionJ.html

Statistisches Bundesamt (FS 4, R 8.1): Produzierends Gewerbe - Eisen und Stahl (div. Jgg. bis 2009). https://www.destatis.de/DE/Startseite.html

Statistisches Bundesamt (FS 4, R 8.2): Verarbeitendes Gewerbe (Düngemittel / Rohholz) - Düngemittelversorgung. Retrieved 14.09.2020, from Statistisches Bundesamt https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Fachstatistiken/duengemittelversorgung-jahr-2040820197004.html

Statistisches Bundesamt (FS 19, R1): Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung. from Statistisches Bundesamt

Statistisches Bundesamt (FS 19, R 1): *Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung*.

Statistisches Bundesamt (FS 19, R 2.1.2): Fachserie 19, Reihe 2.1.2, Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung; ab 2010: 3-jährig.

Statistisches Bundesamt (FS 19, R 2.1.3a): Fachserie 19, Reihe 2.1.3, Strukturdaten zur Wasserwirtschaft; ab 2010; 3-jährig. Retrieved ab 2010

Statistisches Bundesamt (FS 19, R 2.1.3b): Fachserie 19, Reihe 2.1.3, Strukturdaten zur Wasserwirtschaft; ab 2010; 3-jährig.

Statistisches Bundesamt (o.J.-a): *Außenhandelsstatistik: Zeitreihen aus 51000BJ180* Retrieved from https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Verzeichnis/WarenverzeichnisAussenhandel2017.html

Statistisches Bundesamt (o.J.-b). GENESIS Online. *Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes.* Retrieved from https://www-genesis.destatis.de/genesis/online

Statistisches Bundesamt, W. (2021a): *Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller), bereit gestellt im Rahmen einer vereinbarten jährlichen Aktualisierung und Fortschreibung*.

Statistisches Bundesamt, W. (2021b): *Statistik der Sterbefälle: Gestorbene (Anzahl)*. Retrieved from: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Geburten/Tabellen/lebendgeborene-gestorbene.html

Stegmann, R., & Partner (2012): *Fachgutachten: „Methanemissionen aus der Ablagerung von mechanischbiologisch behandelten Abfällen“*. Hamburg. Retrieved from

Stehfest, E., & Bouwman, L. (2006): N2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 74*(3), 207-228.

Steuk, J. (2010): *Vorgaben zur Bewirtschaftung von Wald in Deutschland im Kontext internationaler Vorgaben nach IPCC*. vTI-WOI Eberswalde

StMELF (diverse Jahrgänge): Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere. http://www.hi-tier.de

Stolzenburg, K. (2006): Versuchsergebnisse, Weiden, Pappeln und Miscanthus der LAP Forchheim (pp. 63-80). Forchheim: Landesanstalt für Pflanzenbau.

Strauß, K. (1998): *Kraftwerkstechnik : zur Nutzung fossiler, nuklearer und regenerativer Energiequellen* (4. Aufl. ed.). Berlin: Springer.

Struschka, M., Kilgus, D., Springmann, M., & Behnke, A. (2008): *Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung*. Dessau-Roßlau.

TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 27. Februar 1986 - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Gemeinsames Ministerialblatt S. 95, ber. S. 202, published by GMBl (1986).

TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24. Juli 2002 - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, published by GMBl (2002).

Tebert, C., Volz, S., & Töfge, K. (2016): *Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher*. nicht veröffentlicht. Retrieved from

Theloke, J., Kampffmeyer, T., Kugler, U., Friedrich, R., Schilling, S., Wolf, L., & Springwald, T. (2013): *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.a. i-vi - Diffuse Emissionen aus Mineralöl und Mineralölprodukten* (Förderkennzeichen 360 16 033). Stuttgart. Retrieved from

Theloke, J., Wagner, S., & Jepsen, D. (2008): *Emissionen aus der Nahrungsmittelindustrie / von Jochen Theloke*: Stuttgart [u.a.].

Theloke, J. K., T.; Kugler, U.; Friedrich, R.; Schilling, S.; Wolf, L.; Springwald, T. (2013): *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.a. i-vi - Diffuse Emissionen aus Mineralöl und Mineralölprodukten* (Förderkennzeichen 360 16 033). Stuttgart. Retrieved from

Thünen-Institut (2016): *Ausführungsbestimmung zur Erstellung von Emissions- und Kohlenstoffinventaren und deren Qualitätsmanagement für den Bereich der Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF. Anlage zum Konzept Emissions- und Kohlenstoffinventare im nachgeordneten Bereich des BMEL vom 14.09.2016. Version 2.01, Stand vom 14.09.2016*. Thünen-Institut.

TI, J. H. v. T.-I. (2016): *Ausführungsbestimmung zur Erstellung von Emissions- und Kohlenstoffinventaren und deren Qualitätsmanagement für den Bereich der Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF. Anlage zum Konzept Emissions- und Kohlenstoffinventare im nachgeordneten Bereich des BMEL vom 14.09.2016. Version 2.01, Stand vom 14.09.2016*. THÜNEN-INSTITUT (Johann Heinrich von Thünen-Institut).

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., & Drösler, M. (2020a): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators, 109*, 14. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., & Drösler, M. (2020b): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators, 109*, 105838. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838

Tietge, U., Dornoff, J., Diaz, S., & Jahn, H. (2020): *Erarbeitung einer Methode zur Ermittlung und Modellierung der CO2-Emissionen des Kfz-Verkehrs : Abschlussbericht Texte / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-einer-methode-zur-ermittlung

http://webde/gruppen/bibliothek/OnlineReports/FB000242.pdf

Tomter, S. M., Hylen, G., & Nilsen, J.-E. (2010): *Development of Norway's National Forest Inventory.* Heidelberg: Springer Verlag.

UBA (2016): *Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen biogener Energienutzungspfade.* Dessau-Roßlau. Retrieved from

UMEG (2004): Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 Baden-Württemberg. *Zentrum für Umweltmessung, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG), 4-02/2004*.

UNFCCC (2006): Decision 20/CMP.1: Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005.

UNFCCC (2007): *Germany. Report of the review of the initial report of Germany*. http://unfccc.int/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/first_commitment_period_2008-2012/items/3765.php

UNFCCC (2010): *National Reports - GHG Inventories (Annex I) - Inventory Review Reports* http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/inventory_review_reports/items/4715.php

UNFCCC (2011): *Report of the technical assessment of the forest management reference level submission of Germany submitted in 2011.*

UNFCCC (2013a): *Methodological issues under the Convention: Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention*. http://www.unfccc.int/resource/docs/2013/sbsta/eng/l29a01.pdf

UNFCCC (2013b). Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention, Decision 24/CP.19, Annex I, Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention. Retrieved from http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf#page=2

UNFCCC (2014): *Report of the COP on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013. Addendum: Decision 24/CP.19 on the Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention.*

UNFCCC (2020): *National Inventory Submissions 2020.* . https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020

UNFCCC (2021a). National Inventory Submissions 2021. Retrieved from https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021

UNFCCC (2021b). National Inventory Submissions 2021. Retrieved from https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021

UNFCCC (Ed.) (1998a). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*: United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

UNFCCC (Ed.) (1998b). *Kyoto Protocol to the United Nations Framewrok Convention on Climate Change*: United Nations Framework Convention on Climate Change.

United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC/CP/2013/10/Add.3), FCCC/CP/2013/10/Add.3. (2014).

United Nations Economic Comission for Europe: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), published by UNECE (1979).

UStatG: Umweltstatistikgesetz vom 16. August 2005 (BGBl. I S. 2446), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 5 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234) geändert worden ist, § § 10 Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe (2005).

Vasenev, V., Stoorvogel, J., & Vasenev, I. (2013): Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region. *Catena, 107*, 96-102.
VDA (2013): AdBlue®. In V. d. Automobilindustrie (Ed.). Berlin: Verband der Automobilindustrie (VDA).
VDD (2009): *Berechnung auf Basis des Standes der Technik deutscher Hersteller*.
VDD (2021): *Jährliche Datenübermittlung des Verbandes* [xlsx]. Retrieved from: Inventarbeschreibung in „Bitumen_AREF_Zeitreihen_und_Unsicherheiten_Archiv.zip“
VDI (1998): *Emissionsminderung ; Aluminiumschmelzflußelektrolyse : VDI Richtlinie 2286, Bl. 1, Stand: Dezember 1998*: Berlin Beuth-Verlag GmbH 1998.
VDI-Richtlinie 2440: Emissionsminderung - Mineralölraffinerien, published by V. D. I. (VDI) (2000).
VDI (2006): *Emissionsminderung - Keramische Industrie: VDI 2585* (Stand: Februar 2006 ed.). Berlin: Beuth-Verlag GmbH.
VDI (2017): *Emissionsminderung ; Glashütten : VDI Richtlinie 2578, Stand: Mai 2017*. Berlin: Beuth.
VDMA (2011): *Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland*. Frankfurt am Main. Retrieved from
VDP, V. D. P. (2020): Papier Kompass 2019/2018: Faltblatt mit den wichtigsten Kennzahlen zur deutschen Zellstoff- und Papierindustrie sowie internationalen Vergleichszahlen, verschiedene Jahrgänge sowie zusätzliche Mitteilungen an das UBA.
VDZ (2016): Zement – Produktionsdaten der deutschen Zementindustrie: Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ).
Vogel, H. U. v., & Synowietz, C. (1974): *Chemikerkalender* (2. Auflage,S.314; 1974; ed.).
Volk, F. (1986)), Detonation gases and residues of composite explosives. *Journal of energetic Materials, 4(1)*, p. 93-113.
Vos, C., Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2022): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2020. Report on methods and data (RMD). Submission 2022.* . Braunschweig. Retrieved from https://www.thuenen.de/de/ak/arbeitsbereiche/emissionsinventare/
Wagner, J., & Steinmetzer, S. (2018): *Erhebung der Größen und Zusammensetzung von Brauchtums- und Lagerfeuern durch kommunale Befragungen Texte / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erhebung-der-groessen-zusammensetzung-von
Wallfarth, B. (2014). [E-Mail].
Wallmann, R. (1999): *Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und der Müllverbrennung auf Basis von Energie-und Schadgasbilanzen*: ANS.
Walter, K., Don, A., & Flessa, H. (2015): No general soil carbon sequestration under Central European short rotation coppices. *Gcb Bioenergy, 7*(4), 727-740.
Warncke, K., Schwarz, W., & Gschrey, B. (2018): *Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2016 - Daten von HF(C)KW, FKW, SF6, NF3, SF5CF3, H(C)FE und PFPMIE für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2016*.
WEG (2008). Erdgas-Erdöl, Entstehung-Suche-Förderung. Retrieved from http://www.erdoel-erdgas.de/Erdgas_Erd%F6l___Entstehung___Suche___F%F6rderung-134-1-68b.html
Wei, Z., Wu, S., Yan, X., & Zhou, S. (2014): Density and stability of soil organic carbon beneath impervious surfaces in urban areas. *PloS one, 9*(10), e109380.
Weilbacher (1987): *Ausgasung von Zellgasen*.
Weisberg, S. (2005): *Applied linear regression* (Vol. 528): John Wiley & Sons.
Weiß, M., Neelis, M., & Patel, M. (2006): *Estimating CO2 Emissions from the Non-Energy Use of Fossil Fuels in Germany - Final Report*. Report. Department of Science, Technology, and Society (STS). Utrecht University (UU) - Copernicus Institute. Utrecht.
Weiss, P., Schieler, K., Schadauer, K., & Englisch, M. (2000): *Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll* (Vol. 106): Umweltbundesamt Wien.
Wellbrock, N., Aydin, C. T., Block, J., Bussian, B., Deckert, M., Diekmann, O., Evers, J., Fetzer, K. D., Gauer, J., & Gehrmann, J. (2006): *Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)*. Berlin. Retrieved from
Wellbrock, N., Bolte, A., & Flessa, H. (2016): *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008*. Braunschweig. Retrieved from
Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013): *Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland*: Umweltbundesamt.
Winfried Schwarz, Kimmel, T., Gschrey, B., Leisewitz, A., & Sauer, J. (2012): *Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen*
Winfried Schwarz, A. L. (1996): *Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland*. Frankfurt am Main. Retrieved from
Winfried Schwarz, J. H. (2003): *Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners*. Brussels, Belgium. Retrieved from https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/eccp/docs/leakage_rates_final_report_en.pdf
Winkler (2004): Abschätzung von Emissionsfaktoren bei Transport und Lagerung von Mineralölprodukten *Erdöl, Erdgas, Kohle 120. Jg. 2004, Heft 10 S. 312 ff; Urban Verlag Hamburg/Wien GmbH 2004*.
Wirth, C., Schulze, E. D., Schwalbe, G., Tomczyk, S., Weber, G., Weller, E., Böttcher, H., Schumacher, J., & Vetter, J. (2004): *Abschlussbericht zur Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens*. Jena. Retrieved from
Wolff, B., & Riek, W. (1997): *Deutscher Waldbodenbericht 1996-Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung in Wald (BZE) 1987-1993*. Bonn. Retrieved from
World Meteorological Organization (2018): WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2017. Genf: Switzerland: World Meteorological Association.

World Meteorological Organization (2020): WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2019. Geneva: Switzerland: World Meteorological Association.

Wutzler, T., Wirth, C., & Schumacher, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (Fagus sylvatica) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. *Canadian Journal of Forest research, 38*(6), 1661-1675.

WWF (2015): *Das große Wegschmeißen Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland*: World Wildlife Foundation (WWF).

Zander, F., & Merten, D. (2006): *Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990*.

Zimmermann, T., & Jepsen, D. (2018): *Entwicklung von Methoden zur Berechnung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus der Verwendung von Schmierstoffen und Wachsen*. Hamburg, Dessau-Roßlau.

Zöllner, S. (2014): *Überführung der Bestands- und Ereignisdaten des DVGW in die Emissionsdatenbank des Umweltbundesamts*