CLIMATE CHANGE
28/2023

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023

Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

CLIMATE CHANGE 28/2023

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023

Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021

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 2023

Redaktion:
Fachgebiet V 1.6 Emissionssituation
Dirk Günther (Fachgebietsleitung), Patrick Gniffke, Yaman Tarakji (unterstützend)

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Juni 2023

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 1.0 auf Basis der Datenbank ZSE mit Stand Trendtabellen vom 30.11.2022) 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)

Unterstützender Redakteur: Yaman Tarakji (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 III 2.1)
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 3.4	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), Kristina Juhrich (UBA III 2.1)
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 III 2.1)
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)
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 & 4.5.5	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)
Kapitel 4.7	Kerstin Martens (UBA III 1.4), Cornelia Elsner (UBA III 1.4)
Kapitel 4.8.1, 4.8.2 & 4.8.4	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4)
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)
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	Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt):
Anhänge:	
Anhang 1	Christian Mielke (UBA V 1.6)
Anhang 2	Marion Dreher (UBA V 1.5),
Anhang 2, Kapitel 15.7	Kristina Juhrich (UBA III 2.1), Christian Böttcher (UBA V 1.6)
Anhang 3	Autoren entsprechend der fachlichen Zuständigkeit in Kapitel 3-15
Anhang 3, Kapitel 16.1.2	Michael Kotzulla (V 1.6)
Anhang 3, Kapitel 16.3	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 19.1.2	Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 19.1.3	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 19.1.4 & 5	Christian Mielke (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 19.4	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Anhang 7	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 31
Tabellenverzeichnis 36
Abkürzungsverzeichnis 54
Einheiten und Größen 60
Erklärung der Einleitenden Informationstabellen 61

0 Zusammenfassung (ES) 62
0.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel (ES.1) 63
0.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel (ES1.1) 63
0.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren (ES1.2) 63
0.2 Zusammengefasste Emissionen von Treibhausgasen sowie deren Einbindung in Senken (ES.2) 64
0.3 Zusammengefasste Emissionsschätzungen und Trends der Quell- und Senkengruppen, (ES.3) 68

1 Einleitung 70
1.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel 70
1.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel 70
1.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren 72
1.2 Beschreibung der Institutionalisierung der Inventarerstellung, inklusive der rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Planung, Erstellung und Management des Inventars 74
1.2.1 Übersicht über die institutionellen, rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Erstellung der Treibhausgas- Inventare 74
1.2.1.1 Der Nationale Koordinierungsausschuss 75
1.2.1.2 Koordinierungsstelle des Nationalen Systems 76
1.2.1.3 Arbeitskreis Emissionsinventare im Umweltbundsamt 77
1.2.1.4 Zusammenarbeit der Nationalen Koordinierungsstelle mit anderen Bundesinstitutionen und Nichtregierungsorganisationen im Rahmen der Berichterstattung 77
1.2.1.5 Verbindlicher Terminplan im Rahmen der Erstellung der Emissionsinventare 80
1.2.2 Übersicht über die Inventarplanung 81
1.2.3 Übersicht der Inventarerstellung und –management 81
1.3 Inventarerstellung 82
1.3.1 Treibhausgas-Inventar 83
1.3.1.1 Vorgelagerte Abläufe 83
1.3.1.1.1 Verbesserung der nationalen institutionellen Festlegungen 83
1.3.1.1.2 Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung 83
1.3.1.1.3 Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Tier 1-Verfahren) 84
1.3.1.1.4 Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen 84
1.3.1.1.5 Erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien 85
1.3.2 Sammlung, Verarbeitung und Speicherung der Daten 85
1.3.2.1 Festlegung der Berechnungsgrundlagen 85
1.3.2.2 Datengewinnung 85
1.3.2.3 Datenaufbereitung und Emissionsberechnung 86
1.3.2.4 Berichterstellung 87
1.3.3 Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung (QK/QS) und ausführliche Überprüfung der Treibhausgas-Inventare 88
1.3.3.1 Das Qualitätssystem Emissionsinventare 88
1.3.3.1.1 Hausanordnung 11/2005 des UBA 89
1.3.3.1.2 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung 89
1.3.3.1.3 Aufbauorganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare 89
1.3.3.1.4 Ablauforganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare 92
1.3.3.1.5 Durchführung von QK/QS-Maßnahmen sowie deren Steuerung und Dokumentation im Qualitätssystem Emissionsinventare 92
1.3.3.1.6 Das QSE-Handbuch 95
1.3.3.1.7 Unterstützung UNFCCC-Review 95
1.3.3.1.8 Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Verbesserung der THG-Emissionsinventare 95
1.4 Kurze, allgemeine Beschreibung der angewandten Methodik und Datenquellen 97

1.4.1 Datenquellen 97
1.4.1.1 Energie 97
1.4.1.2 Industrieprozesse 99
1.4.1.3 Landwirtschaft 103
1.4.1.4 Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft 104
1.4.1.5 Abfall und Abwasser 105
1.4.2 Methoden 106
1.5 Kurzbeschreibung der Hauptkategorien 106
1.5.1 Treibhausgas-Inventar (mit und ohne LULUCF) 106
1.6 Informationen zum Qualitätssicherungs- und –kontrollplan sowie zum Inventarplan inklusive Verifizierung und zum Umgang mit vertraulichen Informationen 111
1.6.1 Prozeduren zu Qualitätssicherung- und –kontrolle 111
1.6.1.1 QK/QS-Plan 111
1.6.1.2 QK/QS-Checklisten 111
1.6.1.3 Inventarplan 112
1.6.1.4 Audit 115
1.6.1.5 Workshops zum Nationalen System (Peer Review) 117
1.6.1.6 Ländervergleich zu fluorierten Gasen (Cross-Country-Review) 118
1.6.2 Aktivitäten zur Verifizierung 118
1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien 118
1.6.2.2 Verifikation des nationalen Inventars mit Hilfe unabhängiger Daten 118
1.6.2.3 Verfahren zur Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels 119
1.6.3 Umgang mit vertraulichen Informationen 120
1.7 Generelle Unsicherheitenschätzung 121
1.7.1.1 Vorgehen zur Unsicherheitsbestimmung 122
1.7.1.2 Ergebnisse der Unsicherheitenschätzung 124
1.8 Generelle Prüfung der Vollständigkeit 125

2 Trends der Treibhausgase 126
2.1 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für aggregierte Treibhausgasemissionen 128
2.2 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Treibhausgasen 129
2.2.1 Kohlendioxid (CO_2) 129
2.2.2 Lachgas (N_2O) 131
2.2.3 Methan (CH_4) 131
2.2.4 F-Gase 131
2.3 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Kategorien 132
2.4 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für indirekte Treibhausgase und SO_2 135

3 Energie (CRF Sektor 1) 137
3.1 Übersicht (CRF Sektor 1) 137
3.2 Verbrennung von Brennstoffen (1.A) 137
3.2.1 Verifikation des sektoralen Ansatzes zu CRF 1.A 141
3.2.1.1 Vergleich mit dem CO_2-Referenzverfahren 141
3.2.1.2 Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren Datensätzen 142
3.2.2 Internationale Bunkerbrennstoffe 144
3.2.2.1 Emissionen aus dem internationalen Verkehr (1.D.1.a/1.D.1.b) 144
3.2.2.2 Emissionen aus dem internationalen zivilen Flugverkehr (1.D.1.a) 144
3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.a) 144
3.2.2.2.2 Methodische Aspekte (1.D.1.a) 144
3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.a) 145
3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.a) 145
3.2.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.D.1.a) 145
3.2.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.a) 146
3.2.2.3 Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr/ Marine (1.D.1.b) 147
3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.b) 147
3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.D.1.b) 147
3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.b) 148
3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.b) 148
3.2.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnung (1.D.1.b) 148
3.2.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.b) 149

3.2.3 Analyse der CO_2-Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Energieträgern 149
3.2.4 Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a) 152
3.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.a) 152
3.2.4.2 Methodische Aspekte (1.A.1.a) 154
3.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.a) 159
3.2.4.3.1 Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren 159
3.2.4.3.2 Ergebnis für N_2O 160
3.2.4.3.3 Ergebnis für CH_4 160
3.2.4.3.4 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren 161
3.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.a) 161
3.2.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.a) 161
3.2.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.a) 162
3.2.5 Mineralölraffinerien (1.A.1.b) 162
3.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.b) 162
3.2.5.2 Methodische Aspekte (1.A.1.b) 163
3.2.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.b) 164
3.2.5.3.1 Ergebnis für N_2O 164
3.2.5.3.2 Ergebnis für CH_4 164
3.2.5.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren 164
3.2.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.b) 165
3.2.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.b) 165
3.2.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.b) 165
3.2.6 Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (1.A.1.c) 166
3.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.c) 166
3.2.6.2 Methodische Aspekte (1.A.1.c) 168
3.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.c) 169
3.2.6.3.1 Ergebnis für N_2O 169
3.2.6.3.2 Ergebnis für CH_4 169
3.2.6.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren 170
3.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.c) 170
3.2.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.c) 170
3.2.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.c) 170
3.2.7 Verarbeitendes Gewerbe (1.A.2) 170
3.2.7.1 Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a) 171
3.2.7.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.a) 172
3.2.7.1.2 Methodische Aspekte (1.A.2.a) 173
3.2.7.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a) 174
3.2.7.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.a) 174
3.2.7.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.a) 174
3.2.7.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.a) 174
3.2.7.2 Verarbeitendes Gewerbe – Nichteisen-Metalle (1.A.2.b) 174
3.2.7.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.b) 174
3.2.7.2.2 Methodische Aspekte (1.A.2.b) 175
3.2.7.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.b) 175
3.2.7.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.b) 175
3.2.7.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.b) 175
3.2.7.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.b) 175
3.2.7.3 Verarbeitendes Gewerbe – Chemische Industrie (1.A.2.c) 175
3.2.7.4 Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff und Papierindustrie (1.A.2.d) 176
3.2.7.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.d) 177
3.2.7.4.2 Methodische Aspekte (1.A.2.d) 177
3.2.7.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d) 177
3.2.7.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.d) 177
3.2.7.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.d) 178
3.2.7.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.d) 178
3.2.7.5 Verarbeitendes Gewerbe – Zuckerherstellung (1.A.2.e) 178
3.2.7.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.e) 178
3.2.7.5.2 Methodische Aspekte (1.A.2.e) 178
3.2.7.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.e) 178
3.2.7.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.e) 178
3.2.7.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.e) 179
3.2.7.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.e) 179

3.2.7.6 Verarbeitendes Gewerbe – Mineralische Industrie (1.A.2.f) 179
3.2.7.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 179
3.2.7.6.2 Methodische Aspekte (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 180
3.2.7.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 181
3.2.7.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 181
3.2.7.6.1 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Mineralische Industrie) 181
3.2.7.6.2 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.f, Mineralische Industrie) 181
3.2.7.7 Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 182
3.2.7.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 182
3.2.7.7.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 184
3.2.7.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 184
3.2.7.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 185
3.2.7.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 185
3.2.7.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g, Sonstige, stationär) 185
3.2.7.8 Bauwirtschaftlicher Verkehr (1.A.2.g vii) 186
3.2.7.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g vii) 186
3.2.7.8.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g vii) 186
3.2.7.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g vii) 187
3.2.7.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g vii) 188
3.2.7.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g vii) 188
3.2.7.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g vii) 191
3.2.8 Transport (1.A.3) 191
3.2.8.1 Transport - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a) 191
3.2.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.a) 191
3.2.8.1.2 Methodische Aspekte (1.A.3.a) 192
3.2.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.a) 194
3.2.8.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.a) 195
3.2.8.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.a) 196
3.2.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.a) 197
3.2.8.2 Transport - Straßenverkehr (1.A.3.b) 198
3.2.8.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.b) 198
3.2.8.2.2 Methodische Aspekte (1.A.3.b) 198
3.2.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.b) 202
3.2.8.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.b) 203
3.2.8.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.b) 204
3.2.8.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.b) 205
3.2.8.3 Transport - Schienenverkehr (1.A.3.c) 206
3.2.8.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.c) 206
3.2.8.3.2 Methodische Aspekte (1.A.3.c) 207
3.2.8.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.c) 208
3.2.8.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.c) 209
3.2.8.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.c) 209
3.2.8.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.c) 210
3.2.8.4 Transport - Schiffsverkehr (1.A.3.d) 211
3.2.8.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.d) 211
3.2.8.4.2 Methodische Aspekte (1.A.3.d) 212
3.2.8.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.d) 214
3.2.8.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.d) 214
3.2.8.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.d) 215
3.2.8.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.d) 217
3.2.8.5 Transport - Übriger Verkehr (1.A.3.e) 217
3.2.8.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.e) 217
3.2.8.5.2 Methodische Aspekte (1.A.3.e) 218
3.2.8.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.e) 218
3.2.8.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.e) 218
3.2.8.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.e) 218
3.2.8.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.e) 218
3.2.9 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirstschaft und Fischerei (1.A.4 stationär) 219
3.2.9.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 stationär) 219
3.2.9.2 Methodische Aspekte (1.A.4 stationär) 221

3.2.9.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 stationär) 223
3.2.9.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 stationär) 224
3.2.9.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 stationär) 226
3.2.9.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 stationär) 226
3.2.10 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 mobil) 226
3.2.10.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 mobil) 226
3.2.10.2 Methodische Aspekte (1.A.4 mobil) 227
3.2.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 mobil) 229
3.2.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 mobil) 229
3.2.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 mobil) 231
3.2.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 mobil) 232
3.2.11 Andere Bereiche (1.A.5.a stationär) 232
3.2.11.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.a stationär) 233
3.2.11.2 Methodische Aspekte (1.A.5.a stationär) 233
3.2.11.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.a stationär) 234
3.2.11.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.a stationär) 234
3.2.11.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.a stationär) 234
3.2.11.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.a stationär) 234
3.2.12 Andere Bereiche (1.A.5.b mobil) 235
3.2.12.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.b mobil) 235
3.2.12.2 Methodische Aspekte (1.A.5.b mobil) 235
3.2.12.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.b mobil) 237
3.2.12.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.b mobil) 237
3.2.12.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.b mobil) 238
3.2.12.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.b mobil) 238
3.2.13 Militär 239
3.3 Diffuse Emissionen aus Brennstoffen (1.B) 239
3.3.1 Feste Brennstoffe - Kohlenbergbau und -umwandlung (1.B.1) 239
3.3.1.1 Tiefbau – Steinkohlen 240
3.3.1.2 Tagebau - Braunkohlen 240
3.3.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (Tagebau - Braunkohlen) 240
3.3.1.2.2 Methodik (Tagebau - Braunkohlen) 241
3.3.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Tagebau - Braunkohlen) 241
3.3.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Tagebau - Braunkohlen) 241
3.3.1.3 stillgelegter Steinkohlenbergbau 242
3.3.1.4 Umwandlung von festen Brennstoffen 242
3.3.1.4.1 Beschreibung der Kategorie (Umwandlung von festen Brennstoffen) 242
3.3.1.4.2 Methodische Aspekte (Umwandlung von festen Brennstoffen) 243
3.3.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Umwandlung von festen Brennstoffen) 244
3.3.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Umwandlung von festen Brennstoffen) 244
3.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.1 alle) 244
3.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch(1.B.1 alle) 244
3.3.2 Öl und Erdgas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung (1.B.2) 244
3.3.2.1 Öl (1.B.2.a) 245
3.3.2.1.1 „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 246
3.3.2.1.1.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 246
3.3.2.1.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 246
3.3.2.1.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 247
3.3.2.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i) 247
3.3.2.1.2 „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 247
3.3.2.1.2.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 247
3.3.2.1.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 248
3.3.2.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 248
3.3.2.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii) 248

3.3.2.1.3 „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 248
3.3.2.1.3.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 248
3.3.2.1.3.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 249
3.3.2.1.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 250
3.3.2.1.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii) 250
3.3.2.1.4 „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 250
3.3.2.1.4.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 250
3.3.2.1.4.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 252
3.3.2.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 253
3.3.2.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv) 253
3.3.2.1.5 „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 254
3.3.2.1.5.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 254
3.3.2.1.5.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 255
3.3.2.1.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 257
3.3.2.1.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v) 257
3.3.2.2 Gas (1.B.2.b) 258
3.3.2.2.1 „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 258
3.3.2.2.1.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 258
3.3.2.2.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 258
3.3.2.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 258
3.3.2.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i) 258
3.3.2.2.2 „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 258
3.3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 258
3.3.2.2.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 259
3.3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 259
3.3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii) 259
3.3.2.2.3 Gas, Verarbeitung (1.B.2.b.iii) 260
3.3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iii) 260
3.3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iii) 261
3.3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iii) 261
3.3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iii) 261
3.3.2.2.4 Gas, Weiterleitung (1.B.2.b.iv) 262
3.3.2.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iv) 262
3.3.2.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iv) 263
3.3.2.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iv) 264
3.3.2.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iv) 264
3.3.2.2.5 Gas, Verteilung (1.B.2.b.v) 265
3.3.2.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.v) 265
3.3.2.2.5.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v) 265
3.3.2.2.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v) 266
3.3.2.2.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v) 266
3.3.2.2.6 Gas, Sonstige Leckagen (1.B.2.b.vi) 267
3.3.2.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.vi) 267
3.3.2.2.6.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.vi) 268
3.3.2.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.vi) 268
3.3.2.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.vi) 268
3.3.2.3 Abfackelung und Entlüftung (1.B.2.c) 269
3.3.2.3.1.1 Beschreibung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 269
3.3.2.3.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 271
3.3.2.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 271
3.3.2.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c) 271
3.3.2.4 Geothermie (1.B.2.d) 272

3.3.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.d) 272
3.3.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.d) 272
3.3.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.d) 273
3.3.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und –Verifizierung (1.B.2.d) 273
3.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.2 alle) 273
3.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.B.2 alle) 273
3.4 CO_2-Abscheidung von Abgasen und nachfolgende Speicherung (CCS) (CRF 1.C) 274

4 Industrieprozesse (CRF Sektor 2) 275
4.1 Übersicht (CRF Sektor 2) 275
4.2 Mineralische Industrie (2.A) 275
4.2.1 Mineralische Industrie: Zement (2.A.1) 276
4.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.1) 276
4.2.1.2 Methodische Aspekte (2.A.1) 277
4.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.1) 278
4.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.1) 278
4.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.1) 279
4.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.1) 279
4.2.2 Mineralische Industrie: Kalk (2.A.2) 279
4.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.2) 279
4.2.2.2 Methodische Aspekte (2.A.2) 280
4.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.2) 281
4.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.2) 281
4.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.2) 282
4.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.2) 282
4.2.3 Mineralische Industrie: Glas (2.A.3) 282
4.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.3 Glas) 282
4.2.3.2 Methodische Aspekte (2.A.3 Glas) 283
4.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.3 Glas) 285
4.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.3 Glas) 286
4.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.3 Glas) 286
4.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.3 Glas) 286
4.2.4 Mineralische Industrie: Weiterer Einsatz von Karbonaten (2.A.4) 286
4.2.4.1 Mineralische Industrie: Keramik (2.A.4.a) 287
4.2.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.a Keramik) 287
4.2.4.1.2 Methodische Aspekte (2.A.4.a Keramik) 288
4.2.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.a Keramik) 290
4.2.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.a Keramik) 291
4.2.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.a Keramik) 291
4.2.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.a Keramik) 291
4.2.4.2 Mineralische Industrie: weitere Sodanutzung (2.A.4.b) 291
4.2.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.b) 291
4.2.4.2.2 Methodische Aspekte (2.A.4.b) 292
4.2.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.b) 292
4.2.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.b) 293
4.2.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.b) 293
4.2.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.b) 293
4.2.4.3 Herstellung nichtmetallurgischer Magnesiumprodukte (2.A.4.c) 293
4.2.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.c) 293
4.2.4.3.2 Methodische Aspekte (2.A.4.c) 294
4.2.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.c) 294
4.2.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.c) 294
4.2.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.c) 294
4.2.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.c) 294
4.2.4.4 Mineralische Industrie: weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d) 294
4.2.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.d) 294
4.2.4.4.2 Methodische Aspekte (2.A.4.d) 295
4.2.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.d) 295
4.2.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.d) 295
4.2.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.d) 295
4.2.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.d) 295
4.3 Chemische Industrie (2.B) 295

4.3.1 Chemische Industrie: Ammoniakproduktion (2.B.1) 296
4.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.1) 296
4.3.1.2 Methodische Aspekte (2.B.1) 297
4.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.1) 298
4.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.1) 298
4.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.1) 298
4.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.1) 298
4.3.2 Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion (2.B.2) 298
4.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.2) 298
4.3.2.2 Methodische Aspekte (2.B 2) 299
4.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.2) 300
4.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.2) 300
4.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.2) 300
4.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.2) 300
4.3.3 Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion (2.B.3) 300
4.3.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.3) 300
4.3.3.2 Methodische Aspekte (2.B.3) 301
4.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.3) 301
4.3.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.3) 302
4.3.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.3) 302
4.3.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.3) 302
4.3.4 Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure (2.B.4) 302
4.3.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.4) 302
4.3.4.2 Methodische Aspekte (2.B.4) 303
4.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.4) 304
4.3.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.4) 304
4.3.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.4) 304
4.3.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.4) 304
4.3.5 Chemische Industrie: Carbidproduktion (2.B.5) 304
4.3.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.5) 304
4.3.5.2 Methodische Aspekte (2.B.5) 304
4.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.5) 305
4.3.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.5) 305
4.3.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.5) 305
4.3.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.5) 305
4.3.6 Chemische Industrie: Titandioxid-Produktion (2.B.6) 306
4.3.7 Chemische Industrie: Soda-Herstellung (2.B.7) 306
4.3.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.7) 306
4.3.7.2 Methodische Aspekte (2.B.7) 306
4.3.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.7) 307
4.3.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.7) 307
4.3.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.7) 307
4.3.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.7) 308
4.3.8 Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8) 308
4.3.8.1 Chemische Industrie: Petrochemie (2.B.8 Petrochemie) 308
4.3.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Petrochemie) 308
4.3.8.1.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Petrochemie) 308
4.3.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Petrochemie) 310
4.3.8.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Petrochemie) 311
4.3.8.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Petrochemie) 311
4.3.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Petrochemie) 312
4.3.8.2 Chemische Industrie: Industrieruß-Produktion (2.B.8 Industrieruß) 312
4.3.8.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Industrieruß) 312
4.3.8.2.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Industrieruß) 312
4.3.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Industrieruß) 314
4.3.8.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Industrieruß) 314
4.3.8.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Industrieruß) 314
4.3.8.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Industrieruß) 314
4.3.9 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF_6 (2.B.9) 314
4.3.9.1 Nebenprodukt-Emissionen (2.B.9.a) 314

4.3.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.a) 314
4.3.9.1.2 Methodische Aspekte (2.B.9.a) 315
4.3.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.a) 316
4.3.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.a) 316
4.3.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.a) 316
4.3.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.a) 316
4.3.9.2 Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b) 316
4.3.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.b) 316
4.3.9.2.2 Methodische Aspekte (2.B.9.b) 317
4.3.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.b) 317
4.3.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.b) 317
4.3.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.b) 317
4.3.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.b) 317
4.3.10 Chemische Industrie - Sonstige: Emissionen aus sonstigen Produktionsprozessen (2.B.10) 317
4.3.10.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.10) 318
4.3.10.2 Methodische Aspekte (2.B.10) 318
4.3.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.10) 319
4.3.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.10) 319
4.3.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.10) 319
4.3.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.10) 319
4.4 Metallproduktion (2.C) 319
4.4.1 Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1) 320
4.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.1) 320
4.4.1.2 Methodische Aspekte (2.C.1) 320
4.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.1) 325
4.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.1) 326
4.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.1) 327
4.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.1) 327
4.4.2 Metallproduktion: Produktion von Ferrolegierungen (2.C.2) 327
4.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.2) 327
4.4.2.2 Methodische Aspekte (2.C.2) 327
4.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.2) 328
4.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.2) 328
4.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.2) 328
4.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.2) 328
4.4.3 Metallproduktion: Aluminiumproduktion (2.C.3) 328
4.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.3) 328
4.4.3.2 Methodische Aspekte (2.C.3) 329
4.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.3) 331
4.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.3) 332
4.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.3) 332
4.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.3) 332
4.4.4 Metallproduktion: Magnesiumproduktion (2.C.4) 332
4.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.4) 332
4.4.4.2 Methodische Aspekte (2.C.4) 333
4.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.4) 333
4.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.4) 334
4.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.4) 334
4.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.4) 334
4.4.5 Metallproduktion: Blei (2.C.5) 334
4.4.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.5) 334
4.4.5.2 Methodische Aspekte (2.C.5) 334
4.4.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.5) 335
4.4.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.5) 335
4.4.5.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.5) 335
4.4.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.5) 335
4.4.6 Metallproduktion: Zink (2.C.6) 335
4.4.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.6) 335
4.4.6.2 Methodische Aspekte (2.C.6) 336
4.4.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.6) 336
4.4.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.6) 336
4.4.6.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.6) 336

4.4.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.6) 336
4.4.7 Metallproduktion: Sonstige (2.C.7) 336
4.4.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.7) 336
4.4.7.2 Methodische Aspekte (2.C.7) 337
4.4.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.7) 337
4.4.7.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.7) 337
4.4.7.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.7) 337
4.4.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.7) 337
4.5 Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln (2.D) 337
4.5.1 Anwendung von Schmiermitteln (2.D.1) 337
4.5.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.1) 337
4.5.1.2 Methodische Aspekte (2.D.1) 338
4.5.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.1) 342
4.5.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.1) 342
4.5.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.1) 343
4.5.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.1) 343
4.5.2 Anwendung von Paraffinwachsen (2.D.2) 344
4.5.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.2) 344
4.5.2.2 Methodische Aspekte (2.D.2) 344
4.5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.2) 345
4.5.2.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.2) 345
4.5.2.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.2) 345
4.5.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.2) 345
4.5.3 Sonstige: Lösemittel - NMVOC (2.D.3 Lösemittel) 346
4.5.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Lösemittel) 346
4.5.3.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Lösemittel) 349
4.5.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Lösemittel) 351
4.5.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Lösemittel) 352
4.5.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Lösemittel) 352
4.5.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Lösemittel) 352
4.5.4 Sonstige: Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung (2.D.3 Bitumen) 352
4.5.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Bitumen) 353
4.5.4.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Bitumen) 353
4.5.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Bitumen) 354
4.5.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Bitumen) 354
4.5.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Bitumen) 354
4.5.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Bitumen) 354
4.5.5 Sonstige: Straßenasphaltierung (2.D.3 Asphalt) 355
4.5.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Asphalt) 355
4.5.5.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Asphalt) 355
4.5.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Asphalt) 356
4.5.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Asphalt) 356
4.5.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Asphalt) 356
4.5.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Asphalt) 356
4.5.6 CO_2-Emissionen aus dem Einsatz von AdBlue® in Straßenverkehr und Off-Road-Fahrzeugen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 356
4.5.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Sonstige: AdBlue) 356
4.5.6.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Sonstige: AdBlue) 356
4.5.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 357
4.5.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 357
4.5.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 358
4.5.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Sonstige: AdBlue®) 358
4.6 Elektronik-Industrie (2.E) 358
4.6.1 Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1) 359
4.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.1) 359
4.6.1.2 Methodische Aspekte (2.E.1) 359
4.6.1.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.1) 360
4.6.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.1) 360
4.6.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.1) 360
4.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.1) 360

4.6.2 TFT (2.E.2) 360
4.6.3 Photovoltaik (2.E.3) 360
4.6.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.3) 360
4.6.3.2 Methodische Aspekte (2.E.3) 361
4.6.3.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.3) 361
4.6.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.3) 361
4.6.3.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.3) 361
4.6.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.3) 362
4.6.4 Wärmeüberträger (2.E.4) 362
4.6.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.4) 362
4.6.4.2 Methodische Aspekte (2.E.4) 362
4.6.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.4) 362
4.6.4.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.4) 362
4.6.4.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.4) 362
4.6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.4) 363
4.7 Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (2.F) 363
4.7.1 Kälte- und Klimaanlagen (2.F.1) 366
4.7.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.1) 366
4.7.1.2 Methodische Aspekte (2.F.1) 366
4.7.1.2.1 Gewerbekälte (2.F.1.a) 366
4.7.1.2.2 Haushaltskälte (2.F.1.b) 370
4.7.1.2.3 Industriekälte (2.F.1.c) 371
4.7.1.2.4 Transportkälte (Kühlfahrzeuge und –container) (2.F.1.d) 374
4.7.1.2.5 Mobile Klimaanlagen (2.F.1.e) 377
4.7.1.2.6 Stationäre Klimaanlagen (2.F.1.f) 381
4.7.1.2.6.1 Raumklimageräte 381
4.7.1.2.6.2 Kaltwassersätze (Chiller) 382
4.7.1.2.6.3 Wärmepumpenanlagen 384
4.7.1.2.6.4 Wärmepumpen-Wäschetrockner 385
4.7.1.2.6.5 Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion 386
4.7.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.1 alle) 387
4.7.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.1 alle) 388
4.7.1.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.1 alle) 391
4.7.2 Schaumherstellung (2.F.2) 391
4.7.2.1 Geschlossenzellige Polyurethan-Hartschaumprodukte (2.F.2 PU hard foam) 391
4.7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU hard foam) 391
4.7.2.1.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU hard foam) 391
4.7.2.2 Geschlossenzelliger und offenzelliger XPS-Hartschaum (2.F.2 XPS) 392
4.7.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 XPS) 392
4.7.2.2.2 Methodische Aspekte (2.F.2 XPS) 393
4.7.2.3 Offenzelliger Polyurethan-Integralschaum (2.F.2 PU integral foam) 394
4.7.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU integral foam) 394
4.7.2.3.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU integral foam) 394
4.7.2.4 Offenzelliger Polyurethan-Montageschaum (2.F.2 one-component PU foam) 395
4.7.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 one-component PU foam) 395
4.7.2.4.2 Methodische Aspekte (2.F.2 one-component PU foam) 395
4.7.2.5 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.2 alle) 396
4.7.2.6 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.2 alle) 397
4.7.2.7 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.2 alle) 398
4.7.3 Feuerlöschmittel (2.F.3) 398
4.7.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.3) 398
4.7.3.2 Methodische Aspekte (2.F.3) 398
4.7.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.3) 399
4.7.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.3) 399
4.7.3.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.3) 400
4.7.4 Aerosole (2.F.4) 400
4.7.4.1 Dosieraerosole (2.F.4.a) 400
4.7.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.a) 400
4.7.4.1.2 Methodische Aspekte (2.F.4.a) 400
4.7.4.2 Sonstige Aerosole (2.F.4.b) 401
4.7.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.b) 401
4.7.4.2.2 Methodische Aspekte (2.F.4.b) 402
4.7.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.4 alle) 403

4.7.4.3.1 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.4 alle) 403
4.7.4.3.2 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.4 alle) 403
4.7.5 Lösemittel (2.F.5) 403
4.7.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.5) 403
4.7.5.2 Methodische Aspekte (2.F.5) 403
4.7.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.5) 404
4.7.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.5) 404
4.7.5.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.5) 404
4.7.6 Andere Anwendungen, die ODS Ersatzstoffe verwenden (2.F.6) 404
4.7.7 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.F alle) 404
4.8 Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G) 405
4.8.1 Elektrische Betriebsmittel (2.G.1) 406
4.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.1) 406
4.8.1.2 Methodische Aspekte (2.G.1) 407
4.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.1) 409
4.8.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.1) 410
4.8.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.1) 410
4.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.1) 410
4.8.2 SF_6 und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2) 411
4.8.2.1 Militär - AWACS Wartung (2.G.2.a) 411
4.8.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2a) 411
4.8.2.1.2 Methodische Aspekte (2.G.2.a) 411
4.8.2.2 Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b) 411
4.8.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.b) 411
4.8.2.2.2 Methodische Aspekte (2.G.2.b) 412
4.8.2.3 Isolierglasfenster (2.G.2.c) 413
4.8.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.c) 413
4.8.2.3.2 Methodische Aspekte (2.G.2.c) 414
4.8.2.4 Adiabatisch - Autoreifen (2.G.2.d) 415
4.8.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d) 415
4.8.2.4.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d) 415
4.8.2.5 Adiabatisches Verhalten - Sportschuhe (2.G.2.d) 415
4.8.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d) 415
4.8.2.5.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d) 415
4.8.2.6 Sonstige: Spurengas (2.G.2.e) 416
4.8.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 416
4.8.2.6.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 416
4.8.2.7 Sonstige: Schweißen (2.G.2.e) 416
4.8.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 416
4.8.2.7.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 416
4.8.2.8 Sonstige: Optische Glasfasern (2.G.2.e) 417
4.8.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 417
4.8.2.8.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 417
4.8.2.9 Sonstige: Medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e) 417
4.8.2.9.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e) 417
4.8.2.9.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e) 418
4.8.2.10 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.2 alle) 419
4.8.2.11 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.2 alle) 420
4.8.2.12 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.2 alle) 420
4.8.2.13 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.2 alle) 420
4.8.3 Verwendung von N_2O (2.G.3) 421
4.8.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.3) 421
4.8.3.2 Methodische Aspekte (2.G.3) 422
4.8.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.3) 424
4.8.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.3) 424
4.8.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.3) 425
4.8.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.3) 425
4.8.4 Sonstige Produktherstellung und -verwendung: Andere - ORC-Anlagen (2.G.4 ORC-Anlagen) 425
4.8.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 ORC-Anlagen) 425
4.8.4.2 Methodische Aspekte (2.G.4 ORC-Anlagen) 426
4.8.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 ORC-Anlagen) 426

4.8.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 ORC-Anlagen) 427
4.8.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 ORC-Anlagen) 427
4.8.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 ORC-Anlagen) 427
4.8.5 Sonstige Produktherstellung und -verwendung: Andere - Containerbegasung (2.G.4 Containerbegasung) 427
4.8.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Containerbegasung) 427
4.8.5.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Containerbegasung) 428
4.8.5.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Containerbegasung) 428
4.8.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Containerbegasung) 428
4.8.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Containerbegasung) 429
4.8.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Containerbegasung) 429
4.8.6 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle) 429
4.8.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Holzkohle) 429
4.8.6.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Holzkohle) 429
4.8.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Holzkohle) 430
4.8.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Holzkohle) 430
4.8.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Holzkohle) 430
4.8.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Holzkohle) 430
4.8.7 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Lachgas aus Sprengstoffen (2.G.4 Sprengstoffe) 430
4.8.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Sprengstoffe) 430
4.9 Andere Produktionen (2.H) 430
4.9.1 Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung (2.H.1) 431
4.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.1) 431
4.9.1.2 Methodische Aspekte (2.H.1) 431
4.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.1) 432
4.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.1) 432
4.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.1) 432
4.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.1) 433
4.9.2 Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke (2.H.2) 433
4.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.2) 433
4.9.2.2 Methodische Aspekte (2.H.2) 434
4.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.2) 434
4.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.2) 434
4.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.2) 434
4.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.2) 434
4.9.3 Andere Bereiche (2.H.3) 435

5 Landwirtschaft (CRF Sektor 3) 437
5.1 Übersicht (CRF Sektor 3) 437
5.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen 1990 - 2021 437
5.1.2 Das Emissionsinventarmodell Py-GAS-EM 438
5.1.2.1 Verwendete Regelwerke und ausführlicher Bericht 438
5.1.2.2 Grundstruktur des Emissionsinventarmodelles Py-GAS-EM 438
5.1.2.3 Die Behandlung von CH_4 im Emissionsinventar 440
5.1.2.4 Das Stickstoff-Fluss-Konzept (3.B, 3.D) 440
5.1.3 Charakterisierung der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 442
5.1.3.1 Tierkategorien (3.A, 3.B) 442
5.1.3.2 Tierplatzzahlen (3.A, 3.B) 443
5.1.3.2.1 Erhebungen durch die statistischen Ämter des Bundes und der Länder 443
5.1.3.2.2 Besonderheiten der Tierplatzzahlen im Inventar 445
5.1.3.2.3 Im Inventar verwendete Tierplatzzahlen (3.A, 3.B) 446
5.1.3.2.4 Vergleich mit Tierzahlen der FAO (3.A, 3.B) 447
5.1.3.3 Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B) 448
5.1.3.4 N-Ausscheidungen (3.B) 451
5.1.3.5 VS-Ausscheidungen (3.B) 453
5.1.3.6 Haltungs-, Lager- und Ausbringungsverfahren (CRF 3.B, 3.D) 454
5.1.3.6.1 Häufigkeitsverteilungen (3.B, 3.D) 454
5.1.3.6.2 Einstreu bei Festmistsystemen 455

5.1.3.6.3 Maximale Methan-Bildungsrate B_o (3.B(b)) 455
5.1.3.6.4 Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (3.B) 456
5.1.3.6.5 Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärreste-Management (3.B) 457
5.1.4 Vergärung von Energiepflanzen: Konzept und Aktivitätsdaten 461
5.1.4.1 Konzept und Berücksichtigung in den CRF-Tabellen 461
5.1.4.2 Aktivitätsdaten und Parameter 462
5.1.5 Konzept und Aktivitätsdaten für Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Kulturen 464
5.1.5.1 N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (3.D) 464
5.1.5.1.1 Konzept für die Berechnung direkter Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden 464
5.1.5.1.2 Den direkten N_2O-Emissionen zugrunde liegende N-Mengen (3.D) 464
5.1.5.1.3 Flächen bewirtschafteter organischer Böden (3.D) 467
5.1.5.1.4 Deposition reaktiven Stickstoffs (3.B, 3.D, 3.J) 468
5.1.5.1.5 Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D) 469
5.1.5.2 CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I) 469
5.1.5.3 NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen 470
5.1.6 Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3 471
5.1.7 Qualitätssicherung und -kontrolle 475
5.1.7.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts 475
5.1.7.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse 475
5.1.7.3 Verifizierung 476
5.1.7.4 Reviews und Reports 476
5.2 Fermentation bei der Verdauung (3.A) 477
5.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.A) 477
5.2.2 Methodische Aspekte (3.A) 478
5.2.2.1 Methodik (3.A) 478
5.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.A) 480
5.2.2.3 Emissionen (3.A) 480
5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.A) 481
5.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.A) 481
5.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.A) 483
5.2.6 Geplante Verbesserungen (3.A) 484
5.3 Wirtschaftsdünger-Management (3.B) 484
5.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B) 484
5.3.2 Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, CH_4) 485
5.3.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, CH_4) 485
5.3.2.2 Methodische Aspekte (3.B, CH_4) 485
5.3.2.2.1 Methodik (3.B, CH_4) 485
5.3.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.B,CH_4) 486
5.3.2.2.3 Emissionen (CRF 3.B, CH_4) 486
5.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, CH_4) 487
5.3.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, CH_4) 487
5.3.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, CH_4) 490
5.3.2.6 Geplante Verbesserungen (3.B, CH_4) 491
5.3.3 NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 491
5.3.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (NMVOC) 491
5.3.3.2 Methodische Aspekte (NMVOC) 491
5.3.3.2.1 Methodik (NMVOC) 491
5.3.3.2.2 Emissionsfaktoren (NMVOC) 492
5.3.3.2.3 Emissionen (NMVOC) 493
5.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (NMVOC) 493
5.3.3.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (NMVOC) 493
5.3.3.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (NMVOC) 493
5.3.3.6 Geplante Verbesserungen (NMVOC) 494
5.3.4 Direkte N_2O- und NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, N_2O & NO) 494
5.3.4.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 494
5.3.4.2 Methodische Aspekte (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 494
5.3.4.2.1 Methodik (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 494
5.3.4.2.2 Emissionsfaktoren (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 495
5.3.4.2.3 Emissionen (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 496
5.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 497

5.3.4.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 498
5.3.4.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 499
5.3.4.6 Geplante Verbesserungen (3.B, N_2O_{direkt} & NO) 500
5.3.5 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger-Managements (3.B) 500
5.3.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 500
5.3.5.2 Methodische Aspekte (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 500
5.3.5.2.1 Methodik (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 500
5.3.5.2.2 Emissionsfaktor (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 501
5.3.5.2.3 Emissionen (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 501
5.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 502
5.3.5.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 502
5.3.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 502
5.3.5.6 Geplante Verbesserungen (3.B, $N_2O_{indirekt}$) 502
5.4 Reisanbau (3.C) 502
5.5 Landwirtschaftliche Böden (3.D) 503
5.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.D) 503
5.5.2 Methodische Aspekte und Emissionen(3.D) 504
5.5.2.1 Methodik und Emissionsfaktoren (3.D) 504
5.5.2.1.1 Direkte N_2O-Emissionen (3.D.a) 504
5.5.2.1.2 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden(3.D) 506
5.5.2.1.3 Indirekte N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D) 507
5.5.2.1.4 NO-Emissionen 507
5.5.2.1.5 NMVOC-Emissionen 507
5.5.2.2 Die *Frac*-Größen (3.D) 508
5.5.2.3 Emissionen (3.D) 509
5.5.3 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.D) 510
5.5.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.D) 512
5.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.D) 513
5.5.6 Geplante Verbesserungen (3.D) 514
5.6 Brandrodung (3.E) 514
5.7 Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche (3.F) 514
5.8 CO_2 aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I) 514
5.8.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.G-I) 514
5.8.2 Methodik und Emissionen (3.G-I) 515
5.8.3 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.G-I) 516
5.8.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.G-I) 517
5.8.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.G-I) 517
5.8.6 Geplante Verbesserungen (3.G-I) 517
5.9 CH_4 und N_2O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) (3.J) 518
5.9.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.J) 518
5.9.2 Methodische Aspekte (3.J) 518
5.9.3 CH_4-Emissionsfaktor und -Emissionen (3.J, CH_4) 519
5.9.4 N_2O-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, N_2O) 519
5.9.5 NO-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, NO) 520
5.9.6 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.J) 520
5.9.7 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.J) 520
5.9.8 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.J) 520
5.9.9 Geplante Verbesserungen (3.J) 521

6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF Sektor 4) 522
6.1 Übersicht (CRF Sektor 4) 522
6.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen und -senken 1990 - 2021 522
6.1.2 Methodische Grundlagen 531
6.1.2.1 Kohlenstoffemissionen aus Mineralböden (4.A bis 4.F) 535
6.1.2.1.1 Übersicht Methodik 535
6.1.2.1.2 Datengrundlage und Verfahren 537
6.1.2.1.3 Wald 538
6.1.2.1.4 Ackerland 538
6.1.2.1.5 Grünland 541

6.1.2.1.6 Siedlungen 542
6.1.2.1.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Sonstiges Land 546
6.1.2.1.8 Unsicherheiten 547
6.1.2.1.9 Geplante Verbesserungen 548
6.1.2.2 Emissionen aus organischen Böden (3.D; 4.A bis 4.F; CRF-Tabelle 4(II)) 548
6.1.2.2.1 Aktivitätsdaten 549
6.1.2.2.2 Emissionsberechnung 551
6.1.2.2.3 Implizite Emissionsfaktoren (IEF) 551
6.1.2.3 Kohlenstoffemissionen aus der Biomasse (4.A bis 4.F) 552
6.1.2.3.1 Allgemeines 552
6.1.2.3.2 Allgemeine Berechnungsmethoden 553
6.1.2.3.3 Annuelle Kulturen und Grünland: Berechnungsmethoden und Emissionsfaktoren 553
6.1.2.3.4 Perennierende Kulturen: Berechnungsmethoden und Emissionsfaktoren 555
6.1.2.3.5 Ableitung der Emissionsfaktoren für perennierende Gehölzkulturen 557
6.1.2.3.5.1 Obstgehölze 557
6.1.2.3.5.2 Wein 560
6.1.2.3.5.3 Baumschulen 562
6.1.2.3.5.4 Weihnachtsbaumkulturen 564
6.1.2.3.5.5 Kurzumtriebsplantagen 565
6.1.2.3.5.6 Hopfen 567
6.1.2.3.6 Berechnungsmethodik und Ermittlung der Emissionsfaktoren für Hecken und Feldgehölze 568
6.1.2.3.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Siedlungen 569
6.1.2.3.8 Wald 572
6.1.2.4 Kohlenstoffemissionen aus toter organischer Substanz (4.A bis 4.F) 572
6.1.2.5 Direkte N_2O-Emissionen aus Stickstoff-Düngung von Waldflächen und anderen Flächen (4(I)) 572
6.1.2.6 Emissionen aus fließenden und stehenden künstlichen Gewässern sowie der Entwässerung von organischen und mineralischen Böden (4(II)) 573
6.1.2.7 Direkte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus Stickstoff-Mineralisierung (CRF-Tabelle 4(III)) 578
6.1.2.8 Indirekte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus bewirtschafteten Böden (CRF-Tabelle 4(IV)) 579
6.1.2.9 Verbrennung von Biomasse (CRF-Tabelle 4(V)) 581
6.1.2.10 Unsicherheiten 581
6.1.3 Qualitätssicherung und -kontrolle 581
6.1.3.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts 582
6.1.3.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse 582
6.1.3.3 Verifizierung 583
6.1.3.4 Reviews und Reports 584
6.1.4 Geplante Verbesserungsmaßnahmen 584
6.2 Definitionen von Landnutzung, Klassifizierungssysteme und ihre Widerspiegelung in den LULUCF-Kategorien 584
6.2.1 Wälder 584
6.2.2 Ackerland 585
6.2.3 Grünland 586
6.2.4 Feuchtgebiete 586
6.2.5 Siedlungen 588
6.2.6 Sonstiges Land 589
6.3 Informationen zu den für die Ermittlung der Landflächen gewählten Ansätzen und zu den verwendeten Landnutzungs-Datenquellen 589
6.3.1 Einleitung 589
6.3.2 Datengrundlage und -aufbereitung 590
6.3.2.1 Datenquellen 590
6.3.2.2 Ableiten der LULUCF-Informationen 595
6.3.3 Fehlerbetrachtung 596
6.3.4 Schrittweise Implementierung 596
6.3.4.1 Ableitung der Landnutzung 596
6.3.4.2 Ableitung der jährlichen Landnutzungsänderungen 598
6.3.5 Landnutzungsänderungen nach Konvention 598
6.3.6 Verifizierung 609
6.4 Wälder (4.A) 610
6.4.1 Beschreibung der Kategorie (4.A) 610
6.4.2 Methodische Aspekte (4.A) 613
6.4.2.1 Datenquellen 613

6.4.2.1.1 Bundeswald- und Zwischeninventuren, Datenspeicher Waldfonds und Holzeinschlagszahlen 614
6.4.2.1.2 Bodenzustandserhebung im Wald (BZE-Wald) 614
6.4.2.2 Biomasse (CRF -Table 4.A) 615
6.4.2.2.1 Verbleibende Waldfläche 615
6.4.2.2.2 Neuwaldfläche 618
6.4.2.2.3 Herleitung der Einzelbaumbiomassen 618
6.4.2.2.4 Konvertierung in oberirdische Einzelbaumbiomasse 619
6.4.2.2.5 Konvertierung in unterirdische Biomasse 621
6.4.2.2.6 Konvertierung der Einzelbaumbiomasse in Kohlenstoff 623
6.4.2.2.7 Zustandsschätzer für 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017 623
6.4.2.2.8 Schätzer für die Vorratsveränderung nach der „Stock-Difference-Method“ 625
6.4.2.2.9 Herleitung der jährlichen Veränderungsschätzungen 626
6.4.2.3 Totholz (CRF-Table 4.A) 626
6.4.2.3.1 Verbleibende Waldfläche 626
6.4.2.3.2 Neuwaldfläche 627
6.4.2.4 Streu (CRF-Table 4.A) 628
6.4.2.4.1 Verbleibende Waldfläche 628
6.4.2.4.2 Neuwaldflächen 628
6.4.2.4.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte der Streu 629
6.4.2.4.4 Herleitung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu in dem Zeitraum von 1990 (BZE I-Wald) bis 2006 (BZE II-Wald) 629
6.4.2.5 Mineralische Böden (CRF-Table 4.A) 630
6.4.2.5.1 Verbleibende Waldfläche 630
6.4.2.5.2 Neuwaldflächen 630
6.4.2.5.3 Grundlagen und Methoden für die Berechnung der Änderungsraten der organischen Bodenkohlenstoffvorräte 630
6.4.2.5.4 Änderungsraten der organischen Bodenkohlenstoffvorräte 632
6.4.2.6 Organische Böden (CRF-Table 4.A) 634
6.4.2.6.1 Verbleibende Waldfläche 634
6.4.2.6.2 Neuwaldflächen 635
6.4.2.7 Sonstige Treibhausgasemissionen aus Wäldern 635
6.4.2.7.1 Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(I)) 635
6.4.2.7.2 Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(II)) 635
6.4.2.7.3 Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(III)) 636
6.4.2.7.4 Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(IV)) 636
6.4.2.7.5 Waldbrand (CRF-Table 4(V)) 636
6.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.A) 639
6.4.3.1 Unsicherheiten bei der Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen 640
6.4.3.2 Unsicherheiten bei der Schätzung der Emissionsfaktoren von lebender und toter Biomasse 640
6.4.3.3 Unsicherheiten bei der Schätzung der Streu und der mineralischen Böden 644
6.4.3.3.1 Probenahmefehler 644
6.4.3.3.2 Kleinräumige Variabilität 644
6.4.3.3.3 Repräsentanz von Punkten innerhalb der Straten 644
6.4.3.3.4 Stichprobenfehler 644
6.4.3.3.5 Quantifizierung von methodisch bedingten Unsicherheiten 644
6.4.3.4 Zeitreihenkonsistenz 645
6.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.A) 645
6.4.4.1 Biomasse und Totholz 646
6.4.4.2 Streu und mineralische Böden 646
6.4.4.3 Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten 647
6.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.A) 649
6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.A) 651
6.5 Ackerland (4.B) 651
6.5.1 Beschreibung der Kategorie (4.B) 651
6.5.2 Methodische Aspekte (4.B) 656
6.5.2.1 Datenquellen 656
6.5.2.2 Biomasse 657
6.5.2.2.1 Landnutzungsänderung 657
6.5.2.2.2 Verbleibkategorie 657

6.5.2.3 Mineralische Böden 657
6.5.2.3.1 Landnutzungsänderung 657
6.5.2.3.2 Verbleibkategorie 658
6.5.2.4 Organische Böden 662
6.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.B) 662
6.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.B) 671
6.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.B) 673
6.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.B) 675
6.6 Grünland (4.C) 675
6.6.1 Beschreibung der Kategorie (4.C) 675
6.6.2 Methodische Aspekte (4.C) 681
6.6.2.1 Datenquellen 681
6.6.2.2 Biomasse 682
6.6.2.3 Mineralische Böden 683
6.6.2.4 Organische Böden 684
6.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.C) 684
6.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.C) 689
6.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.C) 691
6.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.C) 693
6.7 Feuchtgebiete (4.D) 693
6.7.1 Beschreibung der Kategorie (4.D) 693
6.7.2 Methodische Aspekte (4.D) 697
6.7.2.1 Datenquellen 697
6.7.2.2 Biomasse 697
6.7.2.3 Mineralböden 698
6.7.2.4 Organische Böden 698
6.7.2.5 Torfabbau 698
6.7.2.6 Gewässer 699
6.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.D) 699
6.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.D) 702
6.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.D) 703
6.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.D) 704
6.8 Siedlungen (4.E) 705
6.8.1 Beschreibung der Kategorie (4.E) 705
6.8.2 Methodische Aspekte (4.E) 708
6.8.2.1 Datenquellen 708
6.8.2.2 Biomasse 708
6.8.2.3 Mineralische Böden 708
6.8.2.4 Organische Böden 708
6.8.2.5 Flächenbrände 709
6.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.E) 709
6.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.E) 711
6.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.E) 713
6.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.E) 714
6.9 Sonstiges Land (4.F) 715
6.9.1 Beschreibung der Kategorie (4.F) 715
6.9.2 Methodische Aspekte (4.F) 715
6.9.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.F) 715
6.9.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.F) 715
6.9.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.F) 715
6.9.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.F) 716
6.10 Holzprodukte (4.G) 716
6.10.1 Beschreibung der Kategorie (4.G) 716
6.10.2 Methodische Aspekte (4.G) 719
6.10.2.1 Aktivitätsdaten 719
6.10.2.2 Emissionsfaktoren 721
6.10.2.3 Verwendete Berechnungsmethode 721
6.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.G) 722
6.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.G) 722
6.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.G) 722
6.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.G) 722
6.11 Andere Bereiche (4.H) 723

7 Abfall und Abwasser (CRF Sektor 5) 723
7.1 Übersicht (CRF Sektor 5) 723
7.2 Abfalldeponierung (5.A) 723
7.2.1 Geordnete Deponierung – Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A.1) 724
7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.A.1) 724
7.2.1.2 Methodische Aspekte (5.A.1) 725
7.2.1.2.1 Deponierte Abfallmengen 727
7.2.1.2.2 Abfallzusammensetzung 729
7.2.1.2.3 MCF (Methankorrekturfaktor) 731
7.2.1.2.4 DOC 732
7.2.1.2.5 DOC_F 734
7.2.1.2.6 F = Anteil des CH_4 am Deponiegas 735
7.2.1.2.7 Halbwertszeit 736
7.2.1.2.8 Deponiegasnutzung 737
7.2.1.2.9 Fackeln 739
7.2.1.2.10 Oxidationsfaktor 739
7.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.A.1) 739
7.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.A.1) 740
7.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.A.1) 740
7.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.A.1) 741
7.3 Biologische Abfallbehandlung (5.B) 741
7.3.1 Kompostierungsanlagen (5.B.1) 742
7.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.1) 742
7.3.1.2 Methodische Aspekte (5.B.1) 742
7.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.1) 744
7.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.1) 744
7.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.1) 745
7.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.1) 746
7.3.2 Vergärungsanlagen (5.B.2) 746
7.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.2) 746
7.3.2.2 Methodische Aspekte (5.B.2) 746
7.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.2) 749
7.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.2) 749
7.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.2) 750
7.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.2) 750
7.4 Abfallverbrennung (5.C) 750
7.4.1 Krematorien 751
7.4.2 Brauchtumsfeuer und ähnliche offene Verbrennungen 751
7.5 Abwasserbehandlung (5.D) 752
7.5.1 Kommunale Abwasserbehandlung (5.D.1) 752
7.5.1.1 Methanemissionen der kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1 Abwasserbehandlung) 753
7.5.1.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Abwasserbehandlung) 753
7.5.1.1.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Abwasserbehandlung) 754
7.5.1.1.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Abwasserbehandlung) 757
7.5.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Abwasserbehandlung) 758
7.5.1.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.1 Abwasserbehandlung) 760
7.5.1.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Abwasserbehandlung) 760
7.5.1.2 Methanemissionen der kommunalen Schlammbehandlung (5.D.1 Schlammbehandlung) 760
7.5.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Schlammbehandlung) 760
7.5.1.2.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Schlammbehandlung) 762
7.5.1.2.2.1 Faulgas 762
7.5.1.2.2.2 Faulgasverluste 762
7.5.1.2.2.3 Offene Schlammfaulung 762
7.5.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Schlammbehandlung) 763
7.5.1.2.3.1 Faulgas 763
7.5.1.2.3.2 Offene Schlammfaulung 763
7.5.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Schlammbehandlung) 763
7.5.1.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.1 Schlammbehandlung) 764

7.5.1.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Schlammbehandlung) 764
7.5.1.3 Lachgasemissionen aus dem kommunalen Abwasser (5.D.1 Lachgas kommunal) 764
7.5.1.3.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Lachgas kommunal) 764
7.5.1.3.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Lachgas kommunal) 764
7.5.1.3.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Lachgas kommunal) 767
7.5.1.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Lachgas kommunal) 768
7.5.1.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.1 Lachgas kommunal) 770
7.5.1.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Lachgas kommunal) 771
7.5.2 Industrielle Abwasserbehandlung (5.D.2) 771
7.5.2.1 Methanemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2) 771
7.5.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 CH_4) 771
7.5.2.1.2 Methodische Aspekte (5.D.2 CH_4) 773
7.5.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 CH_4) 777
7.5.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 CH_4) 777
7.5.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.2 CH_4) 778
7.5.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 CH_4) 778
7.5.2.2 Lachgasemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2 N_2O) 778
7.5.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 N_2O) 778
7.5.2.2.2 Methodische Aspekte (5.D.2 N_2O industriell) 779
7.5.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 N_2O) 781
7.5.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 N_2O) 781
7.5.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.2 N_2O) 782
7.5.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 N_2O) 782
7.6 Andere Bereiche (5.E) 783
7.6.1 Andere Bereiche - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) (5.E Other MBA) 783
7.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.E Other MBA) 783
7.6.1.2 Methodische Aspekte (5.E Other: MBA) 785
7.6.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.E Other MBA) 787
7.6.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.E Other MBA) 787
7.6.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.E Other MBA) 787
7.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.E Other MBA) 788

8 Andere (CRF Sektor 6) 788

9 Indirektes CO_2 & N_2O 788

10 Rückrechnungen und Verbesserungen (GWP nach IPCC AR4) 790
10.1 Erklärung und Rechtfertigung der Rückrechnungen 790
10.1.1 Generelles Vorgehen 790
10.1.2 Rückrechnungen im Inventar 2023 nach Quellgruppen 790
10.1.3 Rückrechnungen im Inventar 2023 nach Substanzen 792
10.2 Auswirkung auf die Höhe der Emissionen 793
10.2.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990 794
10.2.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2005 795
10.2.3 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2020 796
10.3 Auswirkung auf die Emissionstrends und die Konsistenz der Zeitreihe 797
10.4 Verbesserungen des Inventars 797
10.4.1 Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments 810

11 Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten 811
11.1 Background information 811
11.2 Summary of information reported in the SEF tables 811
11.3 Discrepancies and Notifications 811
11.4 Publicly accessible information 811
11.5 Calculation of the Commitment Period Reserve 812

12 Informationen zu Änderungen in den Nationalen Registern 812

13 Weitere Informationen 813

14 Anhang 1: Hauptkategorien des deutschen Treibhausgasinventars 814
14.1 Beschreibung der Methoden zur Festlegung der Hauptkategorien 814
14.1.1 Methode-1-Verfahren 815
14.1.2 Methode-2-Verfahren 819
14.1.3 Bewertung qualitativer Kriterien 819

15 Anhang 2: Detaillierte Erläuterung der Methoden und Daten zur Berechnung von CO_2 Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen 820
15.1 Die Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 820
15.2 Aufbau der Energiebilanzen 821
15.3 Methodische Aspekte: Energiebedingte Aktivitätsraten 823
15.4 Unsicherheiten, Zeitreihenkonsistenz und Qualitätssicherung der Energiebilanz 823
15.4.1 Qualitätsbericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zur Erstellung der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 824
15.4.1.1.1 Hintergrund 824
15.4.1.1.2 Arbeitsteilung bei der Erstellung der Energiebilanzen 825
15.4.1.1.3 Qualität der verwendeten Datenquellen 826
15.4.1.1.4 Transparenz der Methoden und Verfahren 829
15.4.1.1.5 Kontrolle und Verifikation der Ergebnisse 830
15.4.1.1.6 Dokumentation und Archivierung 831
15.4.1.1.7 Qualifikation der Bearbeiter 831
15.4.1.1.8 Erläuterungen zur Aktualität bzw. zeitlichen Verfügbarkeit der Daten für die Erstellung der Energiebilanzen 831
15.5 REGELMÄßIGER VERGLEICH VON ENERGIEBILANZEN 835
15.5.1 Vergleich der Energiebilanz 2020 mit der Schätzbilanz 2020 835
15.6 Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung 837
15.7 CO_2-Emissionsfaktoren 843
15.7.1 Steinkohlen 843
15.7.2 Braunkohlen 846
15.7.3 Mineralöle 848
15.7.4 Gase 850
15.7.5 Abfall und Sonderbrennstoffe 852
15.7.6 Biomassebrennstoffe 852
15.7.7 Liste der abgeleiteten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für Energie & Industrieprozesse 853

16 Anhang 3: Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für einzelne Quell- und Senkenkategorien 860
16.1 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Energie (1) 860
16.1.1 Energiewirtschaft (1.A.1) 860
16.1.1.1 Methodische Aspekte der Ermittlung der Emissionsfaktoren (Kapitel 3.2.4.2) 860
16.1.2 Verkehr (1.A.3) 860
16.1.2.1 Verkehr - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a) 860
16.1.2.1.1 Ableitung der weiteren Emissionsfaktoren (1.A.3.a) 860
16.1.2.2 Ableitung der Aktivitätsraten zum Straßenverkehr (1.A.3.b) 863
16.1.2.2.1 Abgleich auf die Energiebilanz 863
16.1.2.2.2 Zuordnung von Bio-Kraftstoffen, Petroleum sowie Erd- und Flüssiggas auf die Strukturelemente 865
16.1.2.2.3 Aktivitätsrate für Verdunstung 865
16.1.2.3 Ableitung der Emissionsfaktoren 865
16.1.2.3.1 Emissionsfaktoren aus TREMOD 865
16.1.2.3.2 Emissionsfaktoren für Biodiesel, Bio-Ethanol, Petroleum, Erd- und Flüssiggas 866
16.1.2.3.3 länderübergreifender Vergleich der (impliziten) Emissionsfaktoren 866
16.1.3 CO_2-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitakt-Ottomotoren 867
16.1.4 Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen 870
16.2 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Industrieprozesse (2) 871

16.3 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Landwirtschaft (3) 871
16.3.1 Schätzung der Emissionen zusätzlicher Tierkategorien 871
16.3.1.1 Tierplatzzahlen 872
16.3.1.2 CH_4-Emissionen aus der Verdauung 872
16.3.1.3 CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 873
16.3.1.4 N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 873
16.3.1.4.1 N-Ausscheidungen 873
16.3.1.4.2 Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 874
16.3.1.5 Indirekte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 874
16.3.1.6 Direkte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden 875
16.3.1.7 Indirekte N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden 876
16.3.2 Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Weidegangdaten (CRF 3.B, 3.D) 877
16.4 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quell-/Senkenkategorie Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (4) 892
16.5 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Abfall und Abwasser (6) 892

17 Anhang 4: CO_2-Referenzverfahren und Vergleich mit dem Sektoransatz 892
17.1 Vergleich der Ergebnisse des sektoralen und des Referenz-Ansatzes 892

18 Anhang 5: Überprüfung der Vollständigkeit und der potentiell nicht erfassten Quellen und Senken von Treibhausgasemissionen 896

19 Anhang 6: Zusatzinformationen als Bestandteil des NIR oder andere hilfreiche Referenzinformationen 898
19.1 Zusatzinformationen zur Inventarerstellung und zum Nationalen System 898
19.1.1 Festlegungen im Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung 898
19.1.2 Zusatzinformationen zum Qualitätssystem Emission 901
19.1.2.1 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung 901
19.1.2.1.1 Einführung 901
19.1.2.1.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung 901
19.1.2.1.3 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten 902
19.1.2.1.4 QK/QS Plan 902
19.1.2.1.5 Allgemeine Qualitätskontrolle 903
19.1.2.1.6 Kategoriespezifische Qualitätskontrolle 903
19.1.2.1.7 Verfahren zur Qualitätssicherung 904
19.1.2.1.8 Verfahren zur Berichterstattung 904
19.1.2.1.9 Dokumentation und Archivierung 904
19.1.2.1.10 Anlage 1: Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung im Umweltbundesamt 906
19.1.2.1.10.1 Einführung 906
19.1.2.1.10.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung 906
19.1.2.1.10.2.1 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten im UBA 906
19.1.2.1.10.2.2 Verfahren zur Berichterstattung 907
19.1.2.1.10.3 QK-Plan, QS-Plan und Inventarplan 909
19.1.2.1.10.4 Verfahren zur allgemeinen und kategoriespezifischen Qualitätskontrolle 911
19.1.2.1.10.5 Verfahren zur Qualitätssicherung 911
19.1.2.1.10.6 Dokumentation und Archivierung 912
19.1.2.1.11 Anhang 2: Beispiel einer allgemeinen Checkliste für die Rolle Fachverantwortlicher 912
19.1.3 Das Datenbanksystem Zentrales System Emissionen 916
19.1.4 Verification of the German Greenhouse Gas Inventory 917
19.1.4.1 Introduction 917
19.1.4.2 Methods and Materials 918
19.1.4.2.1 The EDGAR Inventory 920
19.1.4.2.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data 920
19.1.4.2.3 The Pollution Release and Transfer Register 920
19.1.4.2.4 The European Emission Trade Data 920
19.1.4.3 Analysis 921
19.1.4.3.1 The EDGAR Inventory 921

19.1.4.3.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data 921
19.1.4.3.3 The Pollution Release and Transfer Register 921
19.1.4.3.4 The European Emission Trade System 921
19.1.4.4 Results and Discussion 922
19.1.4.4.1 The EDGAR Inventory 923
19.1.4.4.2 The CAMS Global Inversion-Optimized Greenhouse Gas Data 923
19.1.4.4.3 The Pollution Release and Transfer Register 924
19.1.4.4.4 The European Emission Trade System 924
19.1.5 Past and Present Verification Activities of Greenhouse Gas Emissions in National and International Projects 924
19.1.5.1 Introduction 925
19.1.5.2 Fossil Fuel CO_2 data 925
19.1.5.3 Methane 927
19.1.5.4 N_2O 929
19.1.6 Detailed sector time series analysis 930
19.2 Ergänzenden Informationen 932
19.2.1 Standard Electronic Format (SEF) Tabellen 932
19.2.2 Detailliertere Informationen über das nationale System und Änderungen im nationalen System 933
19.2.3 Weitere detaillierte Informationen zu den Nationalen Registern und der Buchführung der Kyoto-Einheiten 933
19.3 Zusatzinformationen zu den Trends der Treibhausgase 933
19.4 Rückrechnungen: detaillierte Betrachtung auf Grundlage von CRF Table 8 (GWP IPCC AR 4) 942
19.4.1 Überblick für das Berichtsjahr 1990 942
19.4.2 Überblick für das Berichtsjahr 2020 945

20 Anhang 7: Unsicherheiten nach Kategorien 948

21 Referenzen 964

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgase in Deutschland seit 1990, nach Treibhausgasen' 65
Abbildung 2: Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Kategorien' 69
Abbildung 3: Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien' 70
Abbildung 4: Struktur des Nationalen Systems Emissionen (NaSE) 75
Abbildung 5: Übersicht über den Prozess der Emissionsberichterstattung 82
Abbildung 6: QSE - Rollen Aufgaben und Arbeitsabläufe 92
Abbildung 7: Steuerung und Dokumentation von QKQS-Maßnahmen 93
Abbildung 8: Verfahrensablauf für die jährliche Inventar-Verifikation mit ETS-Monitoring-Daten 96
Abbildung 9: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Energiebereich 97
Abbildung 10: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Industrieprozesse 100
Abbildung 11: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft 103
Abbildung 12: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und KP-LULUCF 104
Abbildung 13: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Abfall und Abwasser 105
Abbildung 14: Relative Entwicklung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas gegenüber 1990 129
Abbildung 15: Kohlendioxid-Emissionen nach Brennstoffen 130
Abbildung 16: Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und von SO_2 136
Abbildung 17: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 1' 137
Abbildung 18: Merkmale der UBA-Struktur der Bilanz der Emissionsursachen zur Disaggregierung der Energiebilanz 140
Abbildung 19: CO_2-Emissionen in Deutschland – Vergleich nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse 143
Abbildung 20: CO_2-Emissionen in Deutschland – relative Abweichung gegenüber IEA-Daten 143
Abbildung 21: Treibhausgasemissionen des von Deutschland ausgehenden internationalen Flugverkehrs seit 1990 144
Abbildung 22: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des internationalen Seeverkehrs seit 1990 147
Abbildung 23: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.a 152
Abbildung 24: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.b 163
Abbildung 25: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.c 167
Abbildung 26: Entwicklung der CO2-Emissionen in Kategorie 1.A.2.a nach Produkten 172
Abbildung 27: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.f Non-Metallic Minerals 180
Abbildung 28: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.g viii Sonstige 183
Abbildung 29: Entwicklung der THG-Emissionen aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft seit 1990 186
Abbildung 30: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des nationalen zivilen Flugverkehrs seit 1990 192
Abbildung 31: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Straßenverkehrs seit 1990 200
Abbildung 32: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs, seit 1990 207
Abbildung 33: Entwicklung der THG- Emissionen im nationalem Schiffsverkehr seit 1990 211
Abbildung 34: Änderung der Gesamtemission von 1.A.4 (stationär) in Abhängigkeit von der Temperatur 220
Abbildung 35: Verlauf des Energieverbrauchs von 1.A.4 (stationär) nach 4 Brennstoffkategorien .. 221

Abbildung 36: Entwicklung der THG-Emissionen der betrachteten Teilsektoren seit 1990 227
Abbildung 37: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs innerhalb der betrachteten Teilsektoren seit 1990 228
Abbildung 38: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.5.a 233
Abbildung 39: Entwicklung der THG-Emissionen aus mobilen Quellen des Militärs seit 1990 235
Abbildung 40: Entwicklung des Kraftstoffeinsatzes seit 1990 236
Abbildung 41: Vergleich der IEF 264
Abbildung 42: Vergleich der IEF 267
Abbildung 43: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 2 275
Abbildung 44: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO_2-Emissionen 322
Abbildung 45: NMVOC-Gesamtemissionen aus lösemittelbasierten Produkten und Anwendungen (2.D.3.a,d-i) 350
Abbildung 46: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 3 438
Abbildung 47: 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.) 439
Abbildung 48: Konzept und thematische Inhalte des GAS-EM-Modells 440
Abbildung 49: Anteil der NUTS-3 Regionen am nationalen Mineraldüngeraufkommen im Mittel der Jahre 2014-2016. 466
Abbildung 50: Darstellung der kreisweisen Berechnung von direkten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden. 504
Abbildung 51: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Unterkategorien 529
Abbildung 52: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Pools 530
Abbildung 53: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Treibhausgasen (GHG) 530
Abbildung 54: Karte der (A) SOC-Vorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und (B) C/N- Verhältnisse in den Mineralböden Deutschlands, bewirtschaftet als Ackerland mit annuellen Kulturen ($Ackerland_{annuell}$) 540
Abbildung 55: Karte der (A) SOC-Vorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und (B) C/N- Verhältnisse in den Mineralböden Deutschlands unter Grünland 541
Abbildung 56: 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 543
Abbildung 57: 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 560
Abbildung 58: 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 562

Abbildung 59: 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... 564
Abbildung 60: 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 565
Abbildung 61: 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..... 567
Abbildung 62: 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..... 569
Abbildung 63: 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.... 570
Abbildung 64: 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.... 571
Abbildung 65: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2021 nach Unterkategorien..... 612
Abbildung 66: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2021 nach Pools 613
Abbildung 67: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Phytomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012 und 2017 616
Abbildung 68: Holzeinschlag in Deutschland..... 617
Abbildung 69: Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse 623
Abbildung 70: Mit Yasso15 und den BZE-Wald-Ergebnisse modellierte bzw. berechneten mittleren Bodenkohlenstoffvorräte in t ha^{-1}..... 634
Abbildung 71: Waldbrandflächen zwischen 1990 und 2021 (nach BLE, 2022) 637
Abbildung 72: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2021 nach Unterkategorien (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme).... 655
Abbildung 73: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2021 nach Pools (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)..... 656
Abbildung 74: Kohlenstoffeintrag [kt C] mittels organischen Dünger und Ernteresten in Ackerland 1990 - 2019..... 660
Abbildung 75: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2021, dargestellt nach Unterkategorien 678

Abbildung 76: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2021, dargestellt nach Pools 679
Abbildung 77: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen und Hecken von 1990–2021, dargestellt nach Unterkategorien 680
Abbildung 78: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen und Hecken von 1990-2021, dargestellt nach Pools 681
Abbildung 79: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Feuchtgebieten von 1990-2021, dargestellt nach Unterkategorien 696
Abbildung 80: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus den Feuchtgebieten von 1990-2021, dargestellt nach Pools 697
Abbildung 81: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen von 1990 – 2021, dargestellt nach Unterkategorien 707
Abbildung 82: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen Deutschlands von 1990 – 2021, dargestellt nach Pools 708
Abbildung 83: Netto CO_2-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten [kt CO_2] 717
Abbildung 84: Kohlenstoffflüsse, Kohlenstoffspeicher und ihre CO_2-Emissionen und Einbindungen entlang der Forst- und Holzkette 718
Abbildung 85: In Deutschland produziertes Schnittholz und Holzwerkstoffe [Mm^3] (FAO, 2022b) .. 719
Abbildung 86: 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) 720
Abbildung 87: Entwicklung des heimischen Rohstofffaktors fDP(i) der berücksichtigten Rohstoffkategorien (FAO, 2022b) 720
Abbildung 88: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 5 723
Abbildung 89: Die Veränderung der Entsorgungspfade der Siedlungsabfälle ab 1990, mit Zwischenjahren 725
Abbildung 90: Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls zwischen 1990 und 2013 730
Abbildung 91: Stoffstromschema Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung 785
Abbildung 92: Änderung der Gesamtemissionen über alle Kategorien gegenüber Submission 2021 (GWP nach IPCC AR4) 792
Abbildung 93: Rückrechnung der Gesamtemission der einzelnen Treibhausgase über alle Quellgruppen gegenüber der Submission 2022 (GWP nach IPCC AR4) 793
Abbildung 94: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 1990 (GWP nach IPCC AR4) 795
Abbildung 95: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2005 (GWP nach IPCC AR4) 796
Abbildung 96: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2020 (GWP nach IPCC AR4) 797
Abbildung 97: Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen 844
Abbildung 98: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Steinkohlenqualitäten 845

Abbildung 99: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten am Beispiel einer Rohbraunkohlequalität 846
Abbildung 100: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Klärschlämme 853
Abbildung 101: prozentuale Abweichungen der im Referenzverfahren erfassten jährlichen Gesamt-Aktivitätsraten von den Gesamtmengen gemäß sektoralem Ansatz 894
Abbildung 102: prozentuale Abweichungen der mit dem Referenzverfahren berechneten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen von den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes 895
Abbildung 103: Übersicht zum gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung 907
Abbildung 104: Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE 910
Abbildung 105: Time Slice Emission data for Germany from the CAMS data store 919
Abbildung 106: Time Slice Emission data for Germany from the EPRTR Database 922
Abbildung 107: Trend plots for CO_2 CH_4 and N_2O emission totals over the years 1990-2018 924
Abbildung 108: Fossil CO_2 emissions for Germany from bottom-up inventories, CRF depicts the reported emissions to the UNFCCC. The trend as well as the order of magnitude are in good agreement between the different sets of data. 926
Abbildung 109: Fossil CO_2 emissions for Germany as mean over the three respective decades. Energy related emissions in Germany have dropped quite significantly between the decades, whilst transport related emissions decreased slower. 927
Abbildung 110: Anthropogenic CH_4 data for the reported UNFCCC data as well as selected bottom-up datasets. 928
Abbildung 111: Trends in anthropogenic CH_4 data for the reported UNFCCC data over three decades. 928
Abbildung 112: Top down anthropogenic CH_4 emissions from the GOSAT satellite as well as from global inversions. 929
Abbildung 113: Anthropogenic N_2O data for the reported UNFCCC data as well as selected bottom-up datasets. 930
Abbildung 114: Trends in N_2O data for the reported UNFCCC data over three decades. 930
Abbildung 115: Trend data from the German GHG inventory (left) vs. EDGAR 7.0 data for Germany (right). 932

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 67
Tabelle 2: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 67
Tabelle 3: QSE - Rollen und Verantwortlichkeiten 90
Tabelle 4: Anzahl der Kategorien und Hauptkategorien 107
Tabelle 5: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz, mit GWP des IPCC AR5 108
Tabelle 6: Hauptkategorien für Deutschland, die sich nur aufgrund des Methode 2-Ansatzes ergeben 109
Tabelle 7: Inventarplan – offene Handlungsbedarfe 113
Tabelle 8: Inventarplan - erledigte Handlungsbedarfe/Verbesserungen 115
Tabelle 9: Übersicht Unsicherheiten Gesamtinventar 124
Tabelle 10: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO_2 in Deutschland seit 1990 127
Tabelle 11: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland seit dem jeweiligen Bezugsjahr (1990/1995) 127
Tabelle 12: Veränderungen der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr 135
Tabelle 13: Vergleich der CO_2-Inventare mit Angaben der IEA, Absolutwerte in Mio. t 142
Tabelle 14: jährliche Anteile der Auslandsflüge an den Kerosin- und Flugbenzin-Inlandsablieferungen, in % 145
Tabelle 15: revidierte prozentuale Anteile an den Treibstoff-Inlandsablieferungen 145
Tabelle 16: revidierte Treibstoffmengen, in Terajoule 146
Tabelle 17: revidierte THG-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten 146
Tabelle 18: revidierte Emissionsfaktoren für CO_2 aus Schweröl, in [kg/TJ] 149
Tabelle 19: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten 149
Tabelle 20: IPCC Standardwerte für EF & Unteren Heizwert 150
Tabelle 21: Verifikation der Vollständigkeit des berichteten CO_2 aus der nichtenergetischen Verwendung von fossilen Energieträgern, für 2021 151
Tabelle 22: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus GFA 157
Tabelle 23: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus Anlagen < 50 MW FWL 157
Tabelle 24: Methan-Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen ab 50 MW FWL und für Gasturbinen 157
Tabelle 25: CO_2-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung in Öffentlichen Kraftwerken 159
Tabelle 26: Rückrechnungen CRF 1.A.1.a 162
Tabelle 27: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b nach Brennstoffen 165
Tabelle 28: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b in der Summe 165
Tabelle 29: CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien 169
Tabelle 30: Rückrechnungen CRF 1.A.1.c 170
Tabelle 31: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.a 174
Tabelle 32: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.b 175
Tabelle 33: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.e 179
Tabelle 34: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.f 181
Tabelle 35: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii nach Brennstoffen 185
Tabelle 36: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii - Abweichungen in der Summe aller Brennstoffe 185
Tabelle 37: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 187
Tabelle 38: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren* 188

Tabelle 39: Übersicht relevanter Datenvergleiche ... 188
Tabelle 40: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten, in kg/TJ ... 188
Tabelle 41: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ ... 188
Tabelle 42: revidierte Primäraktivitätsdaten 2020, in Terajoule ... 189
Tabelle 43: revidierte pronzentuale Anteile an EBZ 67 ... 189
Tabelle 44: resultierende Revision der Aktivitätsdaten, in Terajoule ... 190
Tabelle 45: revidierte Emissionsfaktoren, in kg/TJ ... 190
Tabelle 46: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten ... 191
Tabelle 47: jährliche Anteile der Inlandsflüge an den Treibstoff-Inlandsablieferungen, in % ... 193
Tabelle 48: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ ... 194
Tabelle 49: verwendete spezifische Unsicherheiten ... 195
Tabelle 50: Übersicht relevanter Datenvergleiche ... 196
Tabelle 51: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten [a], in kg/TJ ... 196
Tabelle 52: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ ... 196
Tabelle 53: revidierte jährl. Anteile der Inlandsflüge an Treibstoff-Inlandsablieferungen, in % ... 196
Tabelle 54: resultierende Revision der Inlandsverbräuche, in Terajoule ... 197
Tabelle 55: revidierte THG-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten ... 197
Tabelle 56: Emissionen des Straßenverkehrs, in Kilotonnen ... 201
Tabelle 57: Übersicht relevanter Datenvergleiche ... 204
Tabelle 58: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default-Werten, in kg/TJ ... 204
Tabelle 59: internationaler Vergleich der verwendeten EF(CO_2), in kg/TJ ... 204
Tabelle 60: revidierte Energieeinsätze 2020, in Terajoule ... 205
Tabelle 61: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten ... 205
Tabelle 62: Überblick der verwendeten Statistiken und sonstigen Quellen ... 208
Tabelle 63: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ ... 208
Tabelle 64: prozentuale Unsicherheiten der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren * ... 208
Tabelle 65: Übersicht relevanter Vergleiche ... 209
Tabelle 66: Vergleich der verwendeten EF (CO_2) mit Default-Werten [a], in kg/TJ ... 209
Tabelle 67: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ ... 209
Tabelle 68: korrigierte Emissionsfaktoren für Methan aus Dieselkraftstoffen, in kg/TJ ... 210
Tabelle 69: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalente ... 210
Tabelle 70: Quellennachweis für die verwendeten Aktivitätsdaten ... 213
Tabelle 71: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ ... 214
Tabelle 72: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren* ... 214
Tabelle 73: Übersicht relevanter Datenvergleiche ... 215
Tabelle 74: Vergleich der für das Jahr 2021 verwendeten EF(CO_2) mit IPCC-Default-Werten ... 215
Tabelle 75: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ ... 215
Tabelle 76: revidierte Energieeinsätze, in Terajoule ... 216
Tabelle 77: revidierte CO_2-Emissionsfaktoren aus dem Einsatz von Schweröl, in kg/TJ ... 216
Tabelle 78: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten ... 217
Tabelle 79: Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher für das Bezugsjahr 2010 ... 223
Tabelle 80: Emissionsberechnung mit landesspezifischen Tier 2/3 Emissionsfaktoren und mit den Tier 1 Default-Emissionsfaktoren nach IPCC (2006b) ... 225
Tabelle 81: Rückrechnungen in CRF 1.A.4 stationär ... 226
Tabelle 82: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ ... 229
Tabelle 83: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren* ... 229
Tabelle 84: Übersicht relevanter Datenvergleiche ... 230
Tabelle 85: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) in kg/TJ mit default-Werten* ... 230
Tabelle 86: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ ... 230

Tabelle 87: revidierte Primäraktivitätsdaten 2020, in Terajoule 231
Tabelle 88: revidierte Energieeinsätze der Teilsektoren, in Terajoule 231
Tabelle 89: revidierte Emissionsmengen, in Kilotonnen CO_2-Äquivalenten 232
Tabelle 90: Sektorale Emissionsfaktoren für militärische Dienststellen, Bezugsjahr 2005, fortgeschrieben 234
Tabelle 91: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ 236
Tabelle 92: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren* 237
Tabelle 93: Übersicht relevanter Datenvergleiche 237
Tabelle 94: Vergleich der verwendeten EF(CO_2) mit Default- Werten, in kg/TJ 237
Tabelle 95: revidierte Emissionsdaten, in kt CO_2-Äquivalenten 238
Tabelle 96: Förderung von Braunkohle, in Mio. t. 240
Tabelle 97: Emissionsfaktoren der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau 241
Tabelle 98: Emissionen der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau 241
Tabelle 99: IEF Vergleich mit Nachbarländern für die übertägige Produktion von Braunkohle (nach NIR 2014) 242
Tabelle 100: Aktivitätsraten der Veredelungsprodukte [Angaben in Tonnen] 242
Tabelle 101: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Steinkohlenkoks 243
Tabelle 102: Emissionen der Kategorie 1.B.1.b – Umwandlung von festen Brennstoffen 243
Tabelle 103: Anzahl der Explorationsbohrungen (Öl und Erdgas insgesamt) 246
Tabelle 104: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.i 246
Tabelle 105: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.i 246
Tabelle 106: Fördermenge Erdöl in kt 247
Tabelle 107: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung und Aufbereitung 247
Tabelle 108: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.ii 248
Tabelle 109: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 248
Tabelle 110: Transport von im Inland produziertem Rohöl in kt 249
Tabelle 111: Transport von importiertem Rohöl in kt 249
Tabelle 112: Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen in kt 249
Tabelle 113: Verwendete Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.iii „Transport von Rohöl“ 249
Tabelle 114: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iii 249
Tabelle 115: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 250
Tabelle 116: Verarbeitete Menge an Rohöl in kt 251
Tabelle 117: Auslastungsgrad der Raffinerien in Prozent 251
Tabelle 118: Rohöldestillationskapazität in Raffinerien, in kt 251
Tabelle 119: Lagerkapazität von Tanklagern in Raffinerien und Pipelineterminals, in Mio m^3 251
Tabelle 120: Lagerkapazität von raffineriefernen Tanklagern inklusive Kavernen, in Mio m^3 251
Tabelle 121: Lagerkapazität von Kavernen, in Mio m^3 251
Tabelle 122: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.vi „Diffuse Emissionen in Raffinerien“ 252
Tabelle 123: Verwendeter Emissionsfaktor für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Anodenherstellung in Raffinerien“ 252
Tabelle 124: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung und Reinigung von Rohöl in Tanklagern von Raffinerien“ 252
Tabelle 125: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten (Brennstoffe) in raffineriefernen Tanklagern“ 252
Tabelle 126: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iv 252
Tabelle 127: Tankstellenbestand in Deutschland, Anzahl 254
Tabelle 128: Verteilte Mengen an Mineralölprodukten, in kt 254

Tabelle 129: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Ottokraftstoffen“ 254
Tabelle 130: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Dieselkraftstoffen“ 255
Tabelle 131: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von leichtem Heizöl“ 255
Tabelle 132: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Flugturbinenkraftstoffen“ 255
Tabelle 133: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Reinigung“ 255
Tabelle 134: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.v 255
Tabelle 135: Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen 256
Tabelle 136: Fördermenge Erdgas in Mrd m^3 258
Tabelle 137: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung 259
Tabelle 138: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.ii 259
Tabelle 139: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 260
Tabelle 140: Schwefelproduktion aus der Erdgasgewinnung in Deutschland in kt 261
Tabelle 141: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iii „Aufbereitung“ 261
Tabelle 142: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iii 261
Tabelle 143: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 262
Tabelle 144: Kohlendioxid- Emissionsfaktorvergleich (2022) 262
Tabelle 145: Länge der Hochdruckfernleitungen, in km 262
Tabelle 146: Unterirdische Gasspeichervolumina in Mrd. m^3 262
Tabelle 147: Emissionen der FNB nach OGMP (ohne Speicher) 263
Tabelle 148: Gasverteilungsnetz, Angaben in km 265
Tabelle 149: Emissionen und Trend der Kategorie 1.B.2.b.v 265
Tabelle 150: Anzahl Erdgasfahrzeuge in Deutschland 267
Tabelle 151: Verwendete Aktivitätsraten für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“ 267
Tabelle 152: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.vi 268
Tabelle 153: Vergleich mit IPCC Default Werten 269
Tabelle 154: Verarbeitete Rohölmenge, in Mio. t 269
Tabelle 155: abgefackeltes Erdgas, in Mio. m^3 270
Tabelle 156: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen bei der Erdgasförderung“ 270
Tabelle 157: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Erdölförderanlagen“ 270
Tabelle 158: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Normalbetrieb“ 270
Tabelle 159: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Störung“ 270
Tabelle 160: Emissionen der Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“ 271
Tabelle 161: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten 272
Tabelle 162: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 – NMVOC-Emissionen in kt 273
Tabelle 163: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Methanemissionen in kt 273
Tabelle 164: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Kohlendioxidemissionen in kt 273
Tabelle 165: Produktion und rohstoffbedingte CO_2-Emissionen der deutschen Zementindustrie 276
Tabelle 166: Produktion und CO_2-Emissionen der deutschen Kalkindustrie 279

Tabelle 167: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissonen seit 1990, IEF über alle Glasarten ... 283
Tabelle 168: Glas: Aktivitätsraten der einzelnen Branchensektoren (Glassorten) ... 284
Tabelle 169: Scherbenanteil der einzelnen Glassorten ... 284
Tabelle 170: CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (berechnet im Vergleich mit Angaben der IPCC Guidelines 2006 ... 285
Tabelle 171: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissionen der keramischen Industrie (CRF 2.A.4.a), seit 1990 ... 287
Tabelle 172: CO_2-Emissionsfaktoren für verschiedene keramische Produktgruppen ... 290
Tabelle 173: Aktivitätsraten und nutzungsbedingte CO_2-Emissonen außerhalb der Glasindustrie seit 1990 ... 292
Tabelle 174: In Deutschland verwendete Emissionsfaktoren für sonstige Schadstoffe ... 313
Tabelle 175: Meldenummern der Produktionsstatistik ... 313
Tabelle 176: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 2.B.10 „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“ ... 318
Tabelle 177: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 2.B.10 „Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“ ... 318
Tabelle 178: Ableitung Splitfaktoren für flüssige Mineralölprodukte ... 319
Tabelle 179: CO_2-Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (einschließlich Gichtgasnutzung) ... 322
Tabelle 180: Kalksteineinsatz sowie Eigenerzeugung von Branntkalk in der Stahlindustrie und daraus resultierende CO_2-Emissionen ... 324
Tabelle 181: Insgesamt unter 2.C.1 zu berichtende prozessbedingte Emissionen ... 325
Tabelle 182: AR und prozessbedingte EF der Primäraluminiumproduktion im Jahr 2013 ... 330
Tabelle 183: sortengruppenspezifische Emissionsfaktoren für Schmierstoffe, in Prozent ... 340
Tabelle 184: Umgang mit Kategorien der BAFA-Statistik 1990-1994 ... 341
Tabelle 185: Übersicht der verwendeten spezifischen Mitverbrennungsanteile ... 341
Tabelle 186: Kohlendioxid aus unbeabsichtigt in mobilen Nicht-Zweitaktmotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen ... 342
Tabelle 187: revidierte ungewollt mitverbrannte Mengen, in Terajoule ... 342
Tabelle 188: revidierte CO_2-Emissionen aus ungewollter Mitverbrennung, in Kilotonnen ... 343
Tabelle 189: revidierte CO_2-Emissionen aus stationärer und mobiler Anwendung, in Kilotonnen ... 343
Tabelle 190: Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen und dazugehörige AR und EF ... 354
Tabelle 191: Emissionsfaktoren bei der Herstellung Asphaltmischgut ... 355
Tabelle 192: modellierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen ... 357
Tabelle 193: aus dem Einsatz von AdBlue® resultierende CO_2-Emissionen, in Kilotonnen ... 357
Tabelle 194: revidierte jährliche Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge, in Terajoule ... 358
Tabelle 195: revidierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen ... 358
Tabelle 196: revidierte CO_2-Emissionen, in Kilotonnen ... 358
Tabelle 197: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in der Kategorie 2.F.1 – *Kälte- und Klimaanlagen*. ... 364
Tabelle 198: 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) ... 365
Tabelle 199: 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 Jahren 2016 bis 2020 ... 390

Tabelle 200: 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) im Jahr 2020 ... 398
Tabelle 201: 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) ... 406
Tabelle 202: Inventardaten 2021 der Kategorie 2.G.1 mit Unterkategorien ... 409
Tabelle 203: SF_6-Bestand in Teilchenbeschleunigern in 5 Anwendungssektoren ab 1995, in t ... 412
Tabelle 204: SF_6-Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in t ... 413
Tabelle 205: SF_6-Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern in fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in % des SF_6-Bestands ... 413
Tabelle 206: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Zellstoff (deutscher Beitrag zur Revision des BVT-Merkblattes für die Papier und Zellstoffindustrie 2007 (Spörl, 2009) und Überprüfung der Emssionsfaktoren anhand realer Anlagenmessdaten 2021) ... 431
Tabelle 207: Zellstoff- und Papierherstellung, produzierte Mengen ... 432
Tabelle 208: Umgerechnete Aktivitätsdaten der Spanplattenindustrie ... 432
Tabelle 209: Überblick über freiwillig berichtete fluorierte Treibhausgase, ihre Treibhausgaspotenziale (AR5 GWP) und ihre Anwendungsbereiche ... 435
Tabelle 210: 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 ... 436
Tabelle 211: CRF-Tierkategorien und die für die deutsche Emissionsberichterstattung verwendete Unterteilung (3.A, 3.B) ... 442
Tabelle 212: Zahl der in die deutsche Berichterstattung eingehenden Tierplätze (3.A, 3.B) in 1.000 ... 447
Tabelle 213: Mittlere Tiergewichte (3.A, 3.B) ... 450
Tabelle 214: Mittlere tägliche Milchleistung bei Milchkühen (3.A) ... 450
Tabelle 215: Mittlere tägliche Gesamtenergie-Aufnahme (GE) (3.A) ... 450
Tabelle 216: Tägliche Trockenmasseaufnahme ... 451
Tabelle 217: Verdaulichkeit von organischer Substanz im Futter (3.A) ... 451
Tabelle 218: Aschegehalt des Futters ... 451
Tabelle 219: N-Ausscheidungen pro Tierplatz und Jahr (3.B(b)) ... 452
Tabelle 220: Jährliche N-Ausscheidungen, aufgeteilt nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b)) und Weidegang (3.D) ... 453
Tabelle 221: Tägliche VS-Ausscheidung für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (3.B(a)) ... 453
Tabelle 222: Tägliche VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde (3.B(a)) ... 454
Tabelle 223: Güllebasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 454
Tabelle 224: Strohbasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 454
Tabelle 225: Tiefstreu ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 454
Tabelle 226: Alle Systeme mit Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 454
Tabelle 227: Weide, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)) ... 455
Tabelle 228: Jahressummen des N-Eintrags durch Einstreu in strohbasierten Systemen ... 455
Tabelle 229: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o (3.B(b)) ... 455
Tabelle 230: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o für Geflügel (3.B(b)) ... 456
Tabelle 231: Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für Rinder (3.B(a)) ... 456

Tabelle 232: Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für Schweine (3.B(a)) 457
Tabelle 233: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren *MCF* (in Prozent von B_o) für güllebasierte Systeme ohne Vergärung (3.B(a)) 457
Tabelle 234: Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel (3.B(a)) 457
Tabelle 235: 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 458
Tabelle 236: Methan-Umwandlungsfaktoren für das Vorlager (in Prozent von B_o) 459
Tabelle 237: Anteile der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der in Biogasanlagen eingesetzten N-Mengen) 460
Tabelle 238: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Wirtschaftsdüngersysteme mit Vergärung (3.B(a)) 460
Tabelle 239: Berechnung der N_2O-Emissionen aus der Vergärung 460
Tabelle 240: N_2O-N-Emissionsfaktoren für Vorlager und Gärrestelager 461
Tabelle 241: Gesamte Trockenmasse der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen 462
Tabelle 242: Gesamte VS-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen 463
Tabelle 243: Gesamte N-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen 463
Tabelle 244: Anteil der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der zur Vergärung eingesetzten Frischmasse) 463
Tabelle 245: Berechnung der N-Mengen im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger (einschließlich Wirtschaftsdünger-Gärreste) (3.D) 464
Tabelle 246: N-Mengen, die der Berechnung der direkten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zugrunde liegen (3.D) 467
Tabelle 247: Flächen der bewirtschafteten organischen Böden (3.D) 468
Tabelle 248: Sektoren 3.B und 3.J: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO 468
Tabelle 249: Sektor 3.D: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO ... 469
Tabelle 250: Sektoren 3.B und 3.D: Ausgewaschene N-Menge (incl. Oberflächenabfluss) (3.D) ... 469
Tabelle 251: Düngekalkmengen (3.G & 3.I) 470
Tabelle 252: Ausgebrachte Harnstoffmengen einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (3.H) 470
Tabelle 253: Eingangsdaten für die Berechnung von NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen (Übersicht) 471
Tabelle 254: Gesamtunsicherheitsberechnung für die Emissionen des Sektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden) incl. Energiepflanzen-Vergärung (GWP nach IPCC AR5) 473
Tabelle 255: 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) 478
Tabelle 256: Milchkühe: Milchleistung, GE-Aufnahme, verdauungsbedingte CH_4-Emission und Methanumwandlungsfaktor (3.A) 479
Tabelle 257: Methan-Umwandlungsfaktoren für übrige Rinder (3.A) 479
Tabelle 258: Methan-Umwandlungsfaktoren für Schweine (Dämmgen, Schulz, et al., 2012) (3.A) 480
Tabelle 259: Tierplatzbezogene CH_4-Emissionsfaktoren, Verdauung (3.A) 480
Tabelle 260: Tier-1-Emissionsfaktoren für CH_4 aus der Verdauung bei Schafen, Ziegen und Pferden (3.A) 480
Tabelle 261: CH_4-Emissionen aus der Verdauung (3.A) 481

Tabelle 262: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2020 482
Tabelle 263: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei übrigen Rindern und Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2020 483
Tabelle 264: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berichteten mittleren täglichen Gesamtenergie-Aufnahme für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) 483
Tabelle 265: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berichteten tierplatzbezogenen CH_4-Emissionsfaktoren (Verdauung) für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) .. 483
Tabelle 266: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berichteten CH_4-Emissionen (Verdauung) für alle Säugetiere, Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) 484
Tabelle 267: 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 485
Tabelle 268: Tierplatzbezogene CH_4-Emissionsfaktoren, Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)) 486
Tabelle 269: CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management(3.B(a)) 486
Tabelle 270: CH_4 aus Wirtschaftsdünger-Management (Milchkühe, übrige Rinder, Schweine), prozentuale Beiträge zu CH_4 insgesamt aus Wirtschaftsdünger-Management, und Emissionsverhältnis Rinder : Schweine 487
Tabelle 271: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der CH_4-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negatives Vorzeichen: Emissionsminderung) 487
Tabelle 272: 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 2020 488
Tabelle 273: 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 2020 489
Tabelle 274: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2020 489
Tabelle 275: 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 2020 490
Tabelle 276: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berichteten VS-Ausscheidungen (3.B(a)) 490
Tabelle 277: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berichteten tierplatzbezogenen CH_4-Emissionsfaktoren für das Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)) 491
Tabelle 278: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berichteten CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)) 491
Tabelle 279: NMVOC: Im Inventar verwendete Tier-1- Emissionsfaktoren nach EMEP/EEA (2019b) 492
Tabelle 280: NMVOC: Im Inventar berechneten Tier-2- Emissionsfaktoren (IEF) 492
Tabelle 281: NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 493
Tabelle 282: Prozentuale Beiträge zu den NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 493
Tabelle 283: Vergleich der NMVOC-Emissionen zwischen NIR 2023 und NIR 2022 für Milchkühe und übrige Rinder 494

Tabelle 284: 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)) 495
Tabelle 285: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b)) 496
Tabelle 286: Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (MM) insgesamt und nach Systemkategorien (3.B(b)) 497
Tabelle 287: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der direkten N_2O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negative Werte: Emissionsminderung) 497
Tabelle 288: NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 497
Tabelle 289: N-Ausscheidung pro Tierplatz für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Zeitreihenjahr 2020 498
Tabelle 290: IEFs der direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Jahr 2020 499
Tabelle 291: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berechneten direkten Gesamt-N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 499
Tabelle 292: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 berechneten Gesamt-N-Ausscheidungen (siehe Kapitel 5.1.3.4) 500
Tabelle 293: Vergleich der in Submission 2022 und 2021 berechneten Gesamt-NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management 500
Tabelle 294: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2023 und 2022) 502
Tabelle 295: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2023 und 2022) 502
Tabelle 296: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von N_2O und THG 504
Tabelle 297: N_2O-N Emissionsfaktoren für N-Einträge auf Böden, nach (Mathivanan et al., 2021) 505
Tabelle 298: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Böden 506
Tabelle 299: NMVOC-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Kulturen 508
Tabelle 300: $Frac_{GASF}$-Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D) 509
Tabelle 301: $Frac_{GASM}$-Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D) 509
Tabelle 302: Übersicht über die N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D) . 509
Tabelle 303: N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Prozentuale Beiträge der Teilquellen 510
Tabelle 304: NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden 510
Tabelle 305: NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen 510
Tabelle 306: Vergleich der deutschen N_2O-N-Emissionsfaktoren mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2020 511
Tabelle 307: Vergleich der deutschen Frac-Größen mit denen benachbarter Staaten, Zeitreihenjahr 2020 512
Tabelle 308: Gesamt-N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Submission 2023 und 2022 (3.D) 513
Tabelle 309: Veränderung von Submission 2022 zu Submission 2023 für die gesamten N_2O-Emissionen (direkt und indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2022 zu Submission 2023) 513

Tabelle 310: Vergleich der gesamten NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D) ... 513
Tabelle 311: Veränderung von Submission 2022 zu Submission 2023 für die NO-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2022 zu Submission 2023) ... 514
Tabelle 312: Vergleich der NMVOC-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D) ... 514
Tabelle 313: Prozentuale Veränderung der Summe der CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den THG-Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft ... 515
Tabelle 314: CO_2-Emissionen aus der Düngekalkung (3.G, 3.I) ... 516
Tabelle 315: CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung (3.H) ... 516
Tabelle 316: Vergleich der deutschen CO_2 -IEF-Werte mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2020 ... 516
Tabelle 317: CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I) ... 517
Tabelle 318: Prozentuale Anteile der Emissionen aus der Energiepflanzenvergärung (Fermenter + Gärrestlager; Index: EC) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH_4, N_2O und THG ... 518
Tabelle 319: CH_4-Emissionsfaktor für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte Trockenmasse ... 519
Tabelle 320: CH_4-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) ... 519
Tabelle 321: 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 ... 519
Tabelle 322: N_2O-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten ... 520
Tabelle 323: NO-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten ... 520
Tabelle 324: Vergleich der THG-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) zwischen Submission 2023 und 2022 (3.J) mit GWP nach IPCC AR5 ... 521
Tabelle 325: Übersicht über das Deutsche LULUCF-Berichtsystem: Landnutzungskategorien, Subkategorien und Pools, Übergangsmöglichkeiten und damit verbundene Emissionen an Treibhausgasen ... 524
Tabelle 326: Zuordnung der deutschen Berichtskategorien zu den IPCC-Landnutzungskategorien ... 531
Tabelle 327: Mittelwerte und Mediane der gemessenen und vorhergesagten C/N-Verhältnisse und Bodenkohlenstoffvorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] in Mineralböden unter annuellem Ackerland (*Ackerland$_{annuell}$*) ... 540
Tabelle 328: Mittlerer flächenbezogener Mineralbodenkohlenstoffvorrat bis 30 cm Bodentiefe [t C ha^{-1} 30cm^{-1}] und dessen Unsicherheiten [%] für Ackerflächen mit annuellen und perennierenden Kulturen ... 541
Tabelle 329: Mittelwerte und Mediane der gemessenen und vorhergesagten C/N-Verhältnisse und Bodenkohlenstoffvorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] in Mineralböden unter *Grünland* ... 541
Tabelle 330: Mittlere Kohlenstoff- [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und Stickstoffvorräte [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}] in Mineralböden auf Siedlungsflächen (Subkategorie *Gebäude und Freiflächen*) mit Versiegelungskorrektur ($SOC_{min_set_1990}$ bzw. $N_{min_set_1990}$) und deren Unsicherheiten [%] ... 546

Tabelle 331: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] und dessen Unsicherheiten (%) in Mineralböden von Terrestrischen Feuchtgebieten bis 30 cm Bodentiefe 547
Tabelle 332: Mittlere Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte [t C ha^{-1}] und deren Unsicherheit (Standardabweichung [%]) in Mineralböden auf *Sonstigem Land* bis 30 cm..... 547
Tabelle 333: Flächen organischer Böden und der Entwässerungsgräben nach Landnutzungskategorien für das Jahr 2021 550
Tabelle 334: 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 2021 552
Tabelle 335: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Biomasse annueller Kulturen auf Acker- und Gartenbauland 555
Tabelle 336: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] von Grünland im engeren Sinne (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)..... 555
Tabelle 337: Landnutzungskategorien mit perennierenden Gehölzkulturen außerhalb des Waldes, deren Kompartimente und Umtriebszyklen [a]..... 556
Tabelle 338: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)] der Biomasse von Hopfenkulturen, Zwischenfrüchten und deren Summe nach Portner et al. (2019)..... 567
Tabelle 339: Zeitreihe der mittleren Kohlenstoffvorräte ± Hälfte des 95 %-Konfidenzintervalls der Biomasse von Entwaldungsflächen [t C ha^{-1}]..... 572
Tabelle 340: Ermittlung des mittleren Trophic Adjustment Factors αi (nach 2019 IPCC Refinement) für künstliche, stehende Gewässer Deutschlands nach Trophieklassen (Hoehn et al., 2009)..... 576
Tabelle 341: Ermittlung mittlerer trophischer Anpassungsfaktoren anhand des Gewässerzustandes künstlicher, stehender Gewässer Deutschlands basierend auf (HOEHN et al. 2009) 576
Tabelle 342: 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 2021 579
Tabelle 343: 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 2021 580
Tabelle 344: Unterteilung der Landnutzungskategorie *Feuchtgebiete* in Subkategorien gemäß 2006 IPCC Guidelines und 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2019), die Teilkategorien der Subkategorie *Gewässer* sowie deren Flächen im Jahr 2021 [ha]. Ergänzend die Angaben zu Entwässerungsgräben auf organischen Böden (*kursiv*), die unter 4.A, B, C, E zu berichten sind 587
Tabelle 345: Zuordnung von Hauptobjektartenschlüsselnummern und Attributen des ATKIS® zu den IPCC-Landnutzungskategorien..... 593
Tabelle 346: Basistabelle zur Ableitung der Landnutzungen..... 596
Tabelle 347: Kodierungen in der Basistabelle..... 597
Tabelle 348: Wahrscheinlichste Landnutzung (LU) und deren Datenquelle (DB)..... 597
Tabelle 349: Flächen der Landnutzungskategorien und ihrer Übergänge inklusive 20-jähriger Transition Time nach der Konventionsberichterstattung..... 599
Tabelle 350: Landnutzungsmatrix 2021. Die Diagonale zeigt die Fläche in verbleibender Nutzung, die anderen Felder die jeweiligen Landnutzungsänderungen (einschließlich 20-jähriger Übergangszeiten)..... 600

Tabelle 351: Jährliche Flächen der Landnutzungsänderungen, die den Berechnungen für das Inventar nach Koventionsberichterstattung (20-jährige Übergangszeit) zugrunde liegen. ... 601
Tabelle 352: Prozentuale Verteilung der Flächen landwirtschaftlicher Landnutzung nach Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW), Basis-Digitalem Landschaftsmodell des ATKIS® (B-DLM) und der Agrarstrukturerhebung (ASE). Referenz ist die Gesamtfläche der BZE-LW. ... 610
Tabelle 353: Emissionen im Waldbereich für das Jahr 2021 ... 611
Tabelle 354: Emissionsfaktoren der verbleibenden Waldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse ... 617
Tabelle 355: EF für die Neuwaldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse ... 618
Tabelle 356: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume >= 10 cm BHD ... 620
Tabelle 357: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume >= 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD ... 620
Tabelle 358: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume < 1,3 m Höhe ... 620
Tabelle 359: Wurzelprozent und Raumdichten zur Konvertierung der Datenspeicher Waldfonds-Daten ... 621
Tabelle 360: Volumensexpansionsfaktoren zur Konvertierung von Derbholzvolumen + unterirdischem Volumen zum Baumholzvolumen der Datenspeicher Waldfonds-Daten ... 621
Tabelle 361: Koeffizienten, Parameter, Unsicherheiten und Quellen für die verwendeten Biomassefunktionen, unterteilt nach Baumarten ... 622
Tabelle 362: Biomasse Expansionsfaktoren (BEF) und deren Fehler (RMSE%) für die Baumartenklassen und Zersetzungsgrade (NDH = Nadelbäume, LBH = Laubbäume, EI = Eiche) ... 627
Tabelle 363: Totholzemissionsfaktoren für verbleibende Waldflächen ... 627
Tabelle 364: Totholzemissionsfaktoren für Neuwaldflächen ... 628
Tabelle 365: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für Streu der Landnutzungskategorien zu Neuwald ... 628
Tabelle 366: In den Inventuren BZE I und BZE II ermittelte Kohlenstoffvorräte in der Streu mit Angabe des Standardfehlers (Grüneberg et al., 2014) ... 629
Tabelle 367: Zusammengefasste Legendeneinheiten auf Grundlage der BÜK 1000 ... 632
Tabelle 368: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für organische Böden ... 635
Tabelle 369: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Methan und Stickstoff) für organische Böden ... 635
Tabelle 370: Durch Waldbrände emittierte Treibhausgase ... 639
Tabelle 371: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden ... 640
Tabelle 372: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Aufforstungsflächen für unterschiedliche Perioden ... 641
Tabelle 373: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Entwaldungsflächen für unterschiedliche Perioden ... 641
Tabelle 374: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz für unterschiedliche Perioden ... 643
Tabelle 375: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) ... 647
Tabelle 376: Kohlenstoffvorratsveränderung des Totholzes in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) ... 647
Tabelle 377: Kohlenstoffvorratsveränderung der Streu in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) ... 648
Tabelle 378: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) ... 648

Tabelle 379: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 649
Tabelle 380: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Landnutzungsmatrix 650
Tabelle 381: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Emissionen für die Gase CO_2, Methan und Lachgas (in [kt CO2-eq. mit GWP nach IPCC AR5]) 650
Tabelle 382: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Emissionen für den Pool mineralischer Boden (in [kt CO_2-eq]) 651
Tabelle 383: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Emissionen (Methan und Lachgas) für den Waldbrand (in [kt CO_2-eq. nach IPCC AR5]) 651
Tabelle 384: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus dem Ackerland 2021. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls 653
Tabelle 385: Berechnungsschritte und Ergebnisse der Anwendung der Tier 1-Methode der 2006 IPCC Guidelines auf die Verbleibkategorie deutscher Ackerböden (*Ackerland*$_{annuell}$) 661
Tabelle 386: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus annuellem Ackerland 663
Tabelle 387: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus dem Hopfenanbau 664
Tabelle 388: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha-1 a-1] und ihre Unsicherheiten aus dem Weinanbau 665
Tabelle 389: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus dem Obstanbau 667
Tabelle 390: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus Baumschulen 668
Tabelle 391 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus Weihnachtsbaumkulturen 669
Tabelle 392 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus Kurzumtriebsplantagen 670
Tabelle 393: Implizite Emissionsfaktoren für organischen Böden unter Ackerland [t CO2-Eq. IPCC AR5 ha^{-1} a^{-1}] sowie deren Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) für das Jahr 2021 671
Tabelle 394: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 672
Tabelle 395: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 672
Tabelle 396: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 673
Tabelle 397: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 673
Tabelle 398: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Ackerlandkategorie 675
Tabelle 399: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Ackerland der aktuellen und der Vorjahressubmission 675
Tabelle 400: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus dem Grünland 2021, unterschieden nach Unterkategorien. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls 676

Tabelle 401: Berechnungsschritte und Ergebnisse der Anwendung der Tier 1-Methode der 2006 IPCC Guidelines auf die Verbleibkategorie mineralischer Grünlandböden Deutschlands 684
Tabelle 402: Emissionsfaktoren [t C ha-1 a-1] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2021 aus Grünland i.e.S. 685
Tabelle 403: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Grünland i. e. S. im im Jahr 2021, nach IPCC AR5 686
Tabelle 404: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2021 aus Gehölzflächen 686
Tabelle 405: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Gehölze im Jahr 2021 687
Tabelle 406: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2021 aus Hecken 688
Tabelle 407: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Hecken im Jahr 2021 689
Tabelle 408: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 690
Tabelle 409: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 690
Tabelle 410: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 691
Tabelle 411: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 691
Tabelle 412: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Grünlandkategorie 692
Tabelle 413: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Grünland der aktuellen und der Vorjahressubmission 693
Tabelle 414: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus Feuchtgebieten Deutschlands 2021. 694
Tabelle 415: Torfabbau: $IEF_{off\text{-}site}$ [t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}] und off-site Emissionen [kt CO_2-Eq.] 699
Tabelle 416: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus terrestrischen Feuchtgebieten 2021, unterschieden nach Pools und Unterkategorien 700
Tabelle 417: Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Torfabbau 2021 für die Biomasse 701
Tabelle 418: Unsicherheiten von Impliziten Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus Gewässern im Jahr 2021, nach IPCC AR5 702
Tabelle 419: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Feuchtgebiete und Torfabbau im Jahr 2021, nach IPCC AR5 702
Tabelle 420: Kohlenstoffvorratsveränderung verschiedener Pools in Wetland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 703
Tabelle 421: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Feuchtgebiete 704
Tabelle 422: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Feuchtgebiete der aktuellen und der Vorjahressubmission 704
Tabelle 423: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus Siedlungsflächen 2021. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls 705

Tabelle 424: Implizite Emissionsfaktoren und Unsicherheiten der Emissionsfaktoren [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Gebäude und Freiflächen 2021, unterschieden nach Pools und Unterkategorien 709
Tabelle 425: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Siedlungen im Jahr 2021, nach IPCC AR5 710
Tabelle 426: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 711
Tabelle 427: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 712
Tabelle 428: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 712
Tabelle 429: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020) 713
Tabelle 430: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Siedlungen (4.E) 714
Tabelle 431: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Siedlungen (4.E) der aktuellen und der Vorjahressubmission 714
Tabelle 432: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Sonstiges Land 716
Tabelle 433: Jährlicher Anteil des Einschlags aus verbleibender Waldfläche 721
Tabelle 434: Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, nach Abfallfraktionen 731
Tabelle 435: Pro-Kopf-Mengen an deponiertem Hausmüll 731
Tabelle 436: Pro-Kopf Mengen an Siedlungsabfall 731
Tabelle 437: Verwendete DOC-Werte 734
Tabelle 438: Verwendete DOC_F-Werte 735
Tabelle 439: Anteil CH_4 am Deponiegas 736
Tabelle 440: Halbwertszeiten und konstante Methanerzeugungsrate der Abfallfraktionen 737
Tabelle 441: Methanfassung auf Deponien 738
Tabelle 442: Rekalkulation: Methan-Bildung in Deponien [kt] 741
Tabelle 443: Rekalkulation: Methan-Emissionen aus Deponien [kt] 741
Tabelle 444: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Kompostierung 745
Tabelle 445: Rückrechnungen CRF 5.B.1 746
Tabelle 446: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Vergärung 750
Tabelle 447: Rückrechnungen CRF 5.B.2 750
Tabelle 448: Rechnerische Anzahl der Kremierungen in Deutschland 751
Tabelle 449: Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen nach Anhang 1 der Abwasserverordnung 753
Tabelle 450: Einwohner Deutschland gesamt und mit Anschluss an abflusslose Gruben 757
Tabelle 451: Verifikation CH_4 aus abflusslosen Gruben 759
Tabelle 452: Verwertung von ausgefaultem Klärschlamm 761
Tabelle 453: Vergleich $N_{EFFLUENT}$ nach verschiedenen Quellen; (kt N/Jahr) 769
Tabelle 454: Rückrechnung der N_2O-Emissionen 771
Tabelle 455: Zeitreihe der CH_4-Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung 775
Tabelle 456: Verwendete Parameter zur Bestimmung der Emissionen des gelösten Methans aus der anaeroben Behandlung von Industriellem Abwasser (Bezugsjahr 2013) 776
Tabelle 457: Berechnung des TOW für das Jahr 2021, Direkteinleiter 777
Tabelle 458: Rückrechnung zum TOW auf Basis der Abwassermenge für die Jahre 2017 bis 2020 778
Tabelle 459: Unsicherheiten der mittleren spezifischen Stickstofffracht der 4 relevantesten Industriebereiche 781

Tabelle 460: Emissionen der MBA ... 786
Tabelle 461: Rekalkulation MBA ... 788
Tabelle 462: Eigentliche Allokation der Nichttreibhausgase unter CRF 6 ... 788
Tabelle 463: Übersicht der von Rückrechnungen betroffenen CRF-Oberkategorien ... 792
Tabelle 464: prozentuale Änderungen gegenüber der vorjährigen Berichterstattung ... 793
Tabelle 465: Rückrechnung der nationalen THG-Gesamtemissionen (ohne LULUCF, GWP nach IPCC AR4) ... 794
Tabelle 466: Rückrechnungen der nachrichtlichen Inventardaten (Memo Items, GWP nach IPCC AR4) ... 794
Tabelle 467: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission 1990, in kt CO_2-Äquiv. (GWP nach IPCC AR4) ... 795
Tabelle 468: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission 2005, in kt CO_2-Äquiv. (GWP nach IPCC AR4) ... 796
Tabelle 469: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission 2020, in kt CO_2-Äquiv. (GWP nach IPCC AR4) ... 797
Tabelle 470: Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen ... 799
Tabelle 471: Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen ... 805
Tabelle 472: Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments, Article 9.1 ... 810
Tabelle 473: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz (vollständige Liste, mit IPCC AR5-GWP gerechnet) ... 815
Tabelle 474: Daten für das Jahr 2020: ... 832
Tabelle 475: Daten für das Jahr 2019: ... 832
Tabelle 476: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA ... 833
Tabelle 477: Übersicht: Auffällige Positionen beim Vergleich der Energiebilanz 2020 mit der Schätzbilanz 2020 ... 836
Tabelle 478: Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung ... 837
Tabelle 479: Vergleich der CO_2-Emissionsfaktoren für die Steinkohlen ... 844
Tabelle 480: Vergleich der CO_2-Emissionsfaktoren für den fossilen Kraftstoffanteil ... 848
Tabelle 481: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Energie ... 854
Tabelle 482: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Industrieprozesse ... 859
Tabelle 483: Emissionsfaktoren 2018 für Flugbenzin ... 861
Tabelle 484: Übersicht der Emissionsfaktoren für Kerosin, in kg/TJ ... 862
Tabelle 485: Energieeinsätze im Straßenverkehr seit 1990 ... 863
Tabelle 486: mittlere Heizwerte für Otto- und Dieselkraftstoffe ... 864
Tabelle 487: Korrekturfaktoren zur Anpassung an die Energiebilanz ... 865
Tabelle 488: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus PKW, in kg/TJ ... 867
Tabelle 489: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus leichten Nutzfahrzeugen, in kg/TJ ... 867
Tabelle 490: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus schweren Nutzfahrzeugen, in kg/TJ ... 867
Tabelle 491: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus motorisierten Zweirädern, in kg/TJ ... 867
Tabelle 492: Ableitung der EF(CO_2) für Zweitaktgemische, in kg/TJ ... 869
Tabelle 493: CO_2 aus in Zweitakt-Ottomotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen ... 869

Tabelle 494: revidierte Mengen mitverbrannter Schmierstoffen, in Terajoule 869
Tabelle 495: revidierte Kohlendioxid-Emissionen, in Kilotonnen 869
Tabelle 496: CO_2 aus dem Einsatz von Biodiesel und Bioethanol, in Kilotonnen 870
Tabelle 497: CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen..... 870
Tabelle 498: revidierte fossile CO_2-Emissionen aus Biokraftstoffen, in Kilotonnen..... 871
Tabelle 499: Gesamt-THG-Emissionen von Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren 872
Tabelle 500: Mittlerer jährlicher Tierbestand nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes..... 872
Tabelle 501: CH_4-Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren 873
Tabelle 502: CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren 873
Tabelle 503: Direkte N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren 874
Tabelle 504: Eingangsdaten zur Berechnung der NH_3-Emissionen (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH_3-N pro kg TAN 875
Tabelle 505: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH_3- und NO-Emissionen aus Stall und Lager..... 875
Tabelle 506: Direkte N_2O-Emissionen aus Böden infolge Gehegewild-Freilandaufenthalt und Wirtschaftsdüngerausbringung bei Kaninchen, Straußen und Pelztieren. 876
Tabelle 507: 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) 876
Tabelle 508: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs (N_{reac}) aus NH_3- und NO-Emissionen aus Gehegewild-Freilandaufenthalt und Ausbringung 876
Tabelle 509: Indirekte N_2O-Emissionen aus Böden infolge Auswaschung/Oberflächenabfluss..... 877
Tabelle 510: Häufigkeitsverteilungen von Tierhaltungsverfahren(in %) sowie zugehörige Einstreumengen und NH_3-Emissionsfaktoren 878
Tabelle 511: Häufigkeitsverteilungen von Lagerverfahren (in %), Mengen an vergorenen Energiepflanzen sowie zugehörige Emissionsfaktoren 882
Tabelle 512: Häufigkeitsverteilungen von Ausbringungsverfahren (in %) sowie zugehörige Emissionsfaktoren 886
Tabelle 513: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH_3-Emissionsfaktoren 891
Tabelle 514: Vergleich der mittels sektoralem und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten Energieeinsätze, in Terajoule..... 893
Tabelle 515: Vergleich der mittels sektoralem und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten CO_2-Emissionen, in Kilotonnen..... 894
Tabelle 516: Vollständigkeit - Übersicht der Quellen und Senken, deren Emissionen nicht geschätzt (not estimated, NE) werden..... 897
Tabelle 517: Vollständigkeit – Übersicht der Quellen und Senken, die an anderer Stelle berichtet werden (included elsewhere, IE) 897
Tabelle 518: Dokumentationsinstrumente im Umweltbundesamt 912
Tabelle 519: Allgemeine Checkliste für Fachverantwortliche..... 913
Tabelle 520: Correlation Scores for the three datasets to the German inventory totals 923
Tabelle 521: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 934
Tabelle 522: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie 936
Tabelle 523: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO_2 in Deutschland seit 1990..... 937

Tabelle 524: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland seit 1990/1995 938
Tabelle 525: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO_2 in Deutschland, seit dem jeweils letzten Jahr 939
Tabelle 526: Veränderungen der Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr 941
Tabelle 527: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 942
Tabelle 528: revidierte Methan-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 943
Tabelle 529: revidierte Lachgas-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 943
Tabelle 530: revidierte HFC-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 944
Tabelle 531: revidierte PFC-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 944
Tabelle 532: revidierte SF_6-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 944
Tabelle 533: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 944
Tabelle 534: revidierte NF_3-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4) 944
Tabelle 535: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 945
Tabelle 536: revidierte Methan-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 945
Tabelle 537: revidierte Lachgas-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 946
Tabelle 538: revidierte HFC-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 947
Tabelle 539: revidierte PFC-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 947
Tabelle 540: revidierte SF_6-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 947
Tabelle 541: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4) 947
Tabelle 542: revidierte NF_3-Emissionen für 2020 (GWP IPCC AR 4) 947
Tabelle 543: Unsicherheiten nach Kategorien (Approach 1, Fehlerfortpflanzung gemäß Tabelle 3.4 der 2006 IPCC Guidelines) 949
Tabelle 544: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 2, Monte-Carlo-Simulation, gemäß Tabelle 3.5 der 2006 IPCC Guidelines) 957

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
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMUB	siehe BMUV
BMU	siehe BMUV
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	siehe BMEL
BMVEL	siehe BMEL
BMVG	Bundesministerium der Verteidigung
BMWA	siehe BMWi
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
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)
SCR	Selective Catalytic Reduction
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. Es werden die Treibhausgaspotentiale (engl. Global Warming Potentials, kurz GWP) des IPCC Assessment Report 5 (IPCC AR5) verwendet.

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries**	**all fuels**	**CO_2**	**65.289,1**	**5,1 %**	**8.645,5**	**1,1 %**	**-86,8 %**
-/-	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	N_2O	103,0	0,0 %	139,8	0,0 %	35,7 %
-/-	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	CH_4	586,2	0,1 %	114,0	0,0 %	-80,6 %

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. Zur Umsetzung ihrer National Determinated Contribution nutzt die europäische Staatengemeinschaft die Möglichkeit der gemeinsamen Erfüllung aller EU-Staaten unter dem Übereinkommen von Paris und der Klimarahmenkonvention. Dies erfolgt durch europäische Regelungen, zuletzt durch die Festlegungen der EU-Verordnung 2018/842[1] und ihrer Durchführungsverordnung 2020/2126[2] Durch die aktuelle europäische Umsetzung auf dem Verordnungsweg sind die 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.

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** 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 werden die nationalen Inventararrangements beschrieben, welches gemäß Paragraph 20 der Vertragsstaatenentscheidung 24/CP.19 die Erfüllung aller Berichtspflichten zu atmosphärischen Emissionen und zu Einbindungen in Senken unterstützen und sicherstellen sollen. Weiterhin werden in diesem Kapitel die grundlegenden Prinzipien und Methoden, mit 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

[1] VERORDNUNG (EU) 2018/842 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013

[2] DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2020/2126 DER KOMMISSION vom 16. Dezember 2020 zur Festlegung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2021 bis 2030 gemäß der Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates

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.

Die Anhänge 1 bis 7 in **Kapitel 14-20** 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 21** 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 war 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

[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

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. Auch dieses Ziel wurde bis 2020 mit einer Minderung von 34,3% übertroffen.

0.2 Zusammengefasste Emissionen von Treibhausgasen sowie deren Einbindung in Senken (ES.2)

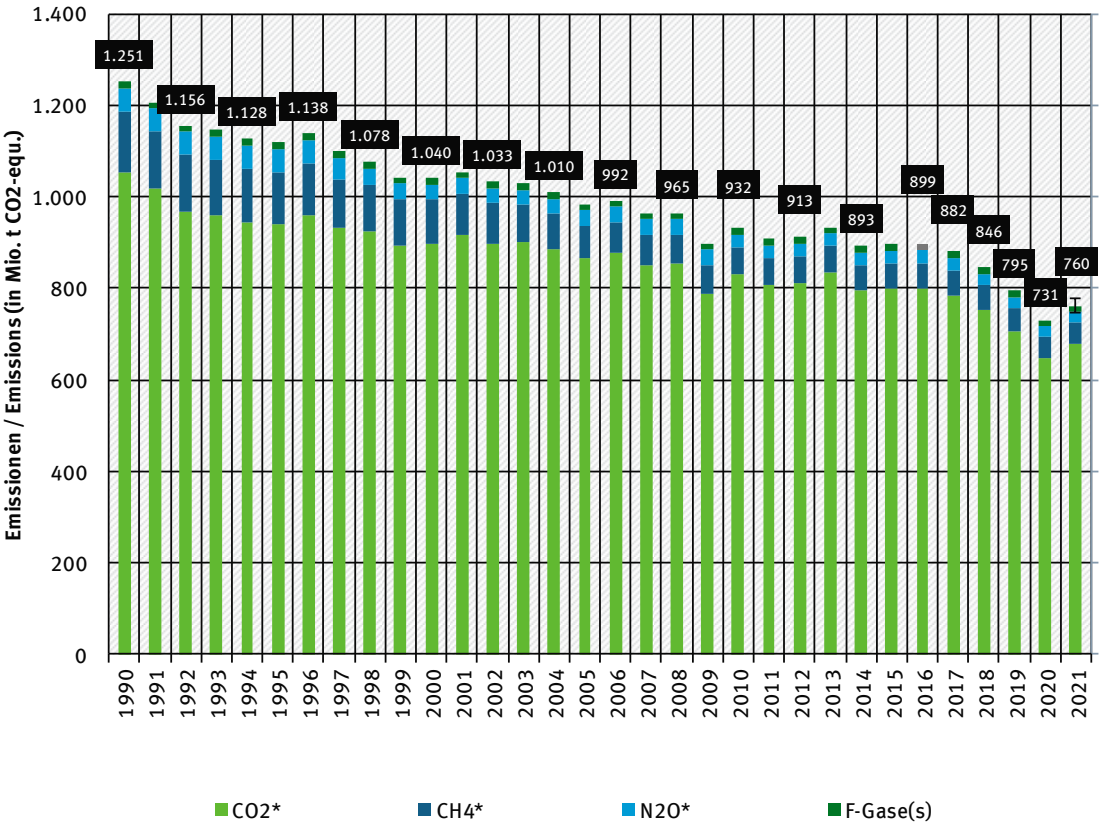
Iin der ersten Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 konnte die Verpflichtung Deutschlands im Rahmen der o.g. europäischen Lastenteilung gegenüber den 2007[7] für die erste Verpflichtungsperiode festgelegten Basisjahremissionen in Höhe von 1.232.429,543 Gg CO_2-äquivalent voll erfüllt werden. Die Emissionen 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 weisen die Emissionen generell einen deutlich sinkenden Trend auf (vgl. Kapitel 2.1). Wobei in 2021 wieder ein Anstieg der Emissionen zu verzeichnen ist.

[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

[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; Tier-2-Unsicherheiten ohne LULUCF (s. Kap. 1.7.1.2)

Die einzelnen Treibhausgase[9] 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 19.3.

Die Freisetzung von Kohlendioxid ist auch 2021 mit einem Anteil von 89,3 % 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 5,0 Prozentpunkte gestiegen. Die überwiegend durch Tierhaltung, Brennstoffverteilung und Deponiewirtschaft verursachten Methanemissionen (CH_4) hatten aktuell einen Anteil von 6,0 %. Lachgasemissionen (N_2O) wurden hauptsächlich durch die Landwirtschaft, Industrieprozesse und die Verbrennung fossiler Brennstoffe verursacht und trugen zu 3,3 % zu den Treibhausgasfreisetzungen bei. Die fluorierten Treibhausgase (die sogenannten F-Gase) trugen etwa 1,5 % 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.

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

[9] Alle Treibhausgas-Emissionen in Kohlendioxid-Äquivalenten werden - wenn nicht anders angegeben - mit den Treibhausgaspotentialen des 5. Sachstandsbericht des IPCC berechnet.

Informationen zu den Trends finden sich in Kapitel 2, alle detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion finden sich im Anhangkapitel 19.3.

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	2021
						(kt CO_2-äquivalent)										
CO_2 emissions (without LULUCF)	**1.054.741**	**939.897**	**898.938**	**865.471**	**831.130**	**807.614**	**812.816**	**833.804**	**794.739**	**798.085**	**801.745**	**785.986**	**754.811**	**707.491**	**647.252**	**678.799**
Net CO_2 emissions/removals	1.083.501	909.585	891.603	865.778	820.839	791.170	787.704	809.946	778.062	779.213	780.350	767.606	739.346	692.963	643.742	675.066
CH_4 (without LULUCF)	**132.606**	**115.632**	**96.046**	**72.574**	**60.100**	**58.551**	**58.893**	**57.899**	**56.368**	**55.895**	**54.178**	**53.339**	**51.098**	**48.261**	**47.051**	**45.688**
CH_4 (with LULUCF)	138.936	121.955	102.370	78.999	66.607	65.061	65.409	64.421	62.898	62.436	60.719	59.883	57.762	54.832	53.613	52.255
N_2O (without LULUCF)	**51.554**	**49.111**	**32.472**	**33.367**	**27.449**	**27.458**	**27.584**	**27.718**	**28.202**	**28.155**	**28.019**	**27.548**	**26.383**	**25.669**	**24.922**	**24.767**
N_2O (with LULUCF)	52.440	49.981	33.332	34.466	28.576	28.582	28.712	28.841	29.350	29.314	29.145	28.679	27.526	26.805	26.068	25.931
F-Gases sum (CO_2 equi.) 1995 base year	**12.324**	**16.021**	**12.735**	**13.576**	**13.701**	**13.880**	**14.056**	**14.085**	**14.085**	**14.523**	**14.619**	**14.710**	**13.879**	**13.212**	**11.697**	**11.104**
Total Emissions without LULUCF (CO_2 equi.)	**1.251.225**	**1.120.661**	**1.040.192**	**984.987**	**932.379**	**907.502**	**913.348**	**933.505**	**893.394**	**896.658**	**898.560**	**881.583**	**846.171**	**794.634**	**730.923**	**760.358**
Total Emissions/Removals with LULUCF (CO_2 equi.)	1.287.200	1.097.542	1.040.041	992.819	929.723	898.693	895.881	917.293	884.395	885.486	884.832	870.878	838.514	787.811	735.120	764.356
Emission source and sink categories	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2021**
						(kt CO_2-äquivalent)										
1. Energy	**1.044.156**	**922.578**	**872.552**	**832.819**	**800.320**	**776.304**	**783.203**	**803.522**	**762.833**	**767.815**	**768.841**	**748.982**	**718.460**	**671.198**	**613.329**	**642.351**
2. Industry	**93.227**	**94.758**	**76.658**	**74.091**	**61.850**	**61.816**	**60.925**	**60.750**	**60.674**	**59.700**	**61.518**	**65.453**	**62.549**	**59.534**	**55.140**	**57.180**
3. Agriculture	**72.632**	**63.189**	**62.732**	**59.623**	**59.355**	**59.394**	**60.052**	**60.852**	**62.108**	**61.967**	**61.546**	**60.867**	**59.265**	**58.525**	**57.552**	**56.333**
4. Land-Use Change and Forestry	**35.976**	**-23.118**	**-151**	**7.832**	**-2.656**	**-8.809**	**-17.467**	**-16.213**	**-8.999**	**-11.172**	**-13.727**	**-10.705**	**-7.657**	**-6.822**	**4.197**	**3.998**
CO_2 (net emissions)	28.760	-30.312	-7.335	307	-10.290	-16.444	-25.111	-23.859	-16.677	-18.872	-21.395	-18.380	-15.465	-14.529	-3.511	-3.733
N_2O + CH_4	7.215	7.194	7.183	7.525	7.635	7.634	7.644	7.646	7.677	7.700	7.667	7.675	7.808	7.707	7.708	7.731
5. Waste	**41.209**	**40.136**	**28.250**	**18.454**	**10.853**	**9.987**	**9.167**	**8.381**	**7.780**	**7.175**	**6.655**	**6.281**	**5.897**	**5.377**	**4.901**	**4.494**

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	2021
							(%)									
CO_2 emissions (without LULUCF)	84,30	83,87	86,42	87,87	89,14	88,99	88,99	89,32	88,96	89,01	89,23	89,16	89,20	89,03	88,55	89,27
CH_4 (without LULUCF)	10,60	10,32	9,23	7,37	6,45	6,45	6,45	6,20	6,31	6,23	6,03	6,05	6,04	6,07	6,44	6,01
N_2O (without LULUCF)	4,12	4,38	3,12	3,39	2,94	3,03	3,02	2,97	3,16	3,14	3,12	3,12	3,12	3,23	3,41	3,26
F-gases sum	0,98	1,43	1,22	1,38	1,47	1,53	1,54	1,51	1,58	1,62	1,63	1,67	1,64	1,66	1,60	1,46
GHG Emission Fractions for Categories (without LULUCF)	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**		**2020**	**2021**
							(%)									
1. Energy	83,45	82,32	83,88	84,55	85,84	85,54	85,75	86,08	85,39	85,63	85,56	84,96	84,91	84,47	83,91	84,48
2. Industry	7,45	8,46	7,37	7,52	6,63	6,81	6,67	6,51	6,79	6,66	6,85	7,42	7,39	7,49	7,54	7,52
3. Agriculture	5,80	5,64	6,03	6,05	6,37	6,54	6,57	6,52	6,95	6,91	6,85	6,90	7,00	7,37	7,87	7,41
5. Waste	3,29	3,58	2,72	1,87	1,16	1,10	1,00	0,90	0,87	0,80	0,74	0,71	0,70	0,68	0,67	0,59

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

0.3 Zusammengefasste Emissionsschätzungen und Trends der Quell- und Senkengruppen, (ES.3)

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.

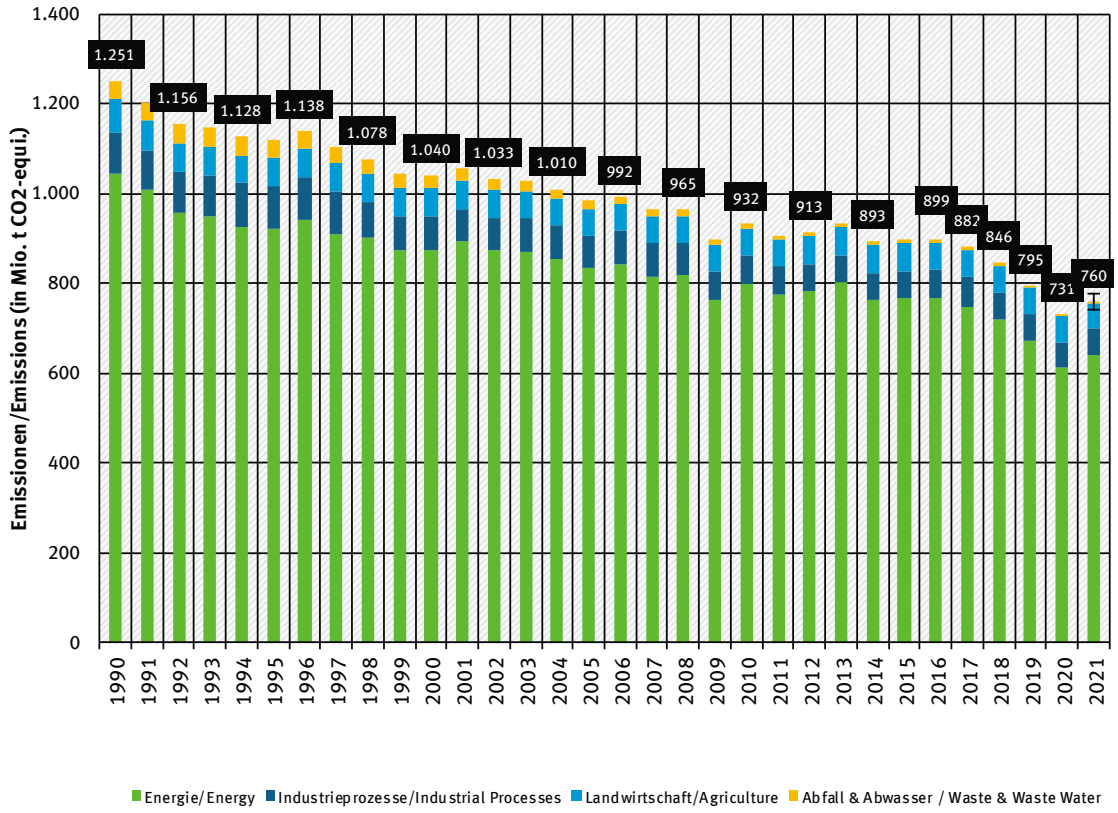
Insgesamt gingen im Jahr 2021 die Emissionen der Treibhausgase gegenüber 1990 um 39,2 % zurück[10]. Betrachtungen der einzelnen Komponenten belegen diesen Trend in unterschiedlicher Ausprägung. Die Emissionsveränderungen betragen bei den mengenmäßigen Haupttreibhausgasen Kohlendioxid (CO_2) -35,6 %, bei Methan (CH_4) -65,5 % und bei Lachgas (N_2O) -52,0 %. Bei den so genannten F-Gasen, die insgesamt etwa 1,5 % 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 30,7 %.

Gegenüber dem Vorjahr 2020 stiegen die Gesamtemissionen um 4,0 %, der größte Anstieg seit dem Jahr 1990.

Vor allem die CO_2 Emissionen aus der Stromerzeugung stiegen massiv. Besonders deutlich stiegen die **Emissionen aus den öffentlichen** Stein- und Braunkohlen**kraftwerken** aufgrund des erhöhten Kohleeinsatzes an. Der Einsatz von emissionsärmerem Erdgas nahm dagegen in der zweiten Jahreshälfte aufgrund der deutlich gestiegenen Gaspreise ab. Die wesentlichen Gründe für den erhöhten Einsatz von Stein- und Braunkohlen zur Stromerzeugung sind die, im Vergleich zum Vorjahr, deutlich verringerte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere die geringere Windstromerzeugung.

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

Abbildung 2: Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Kategorien[11],

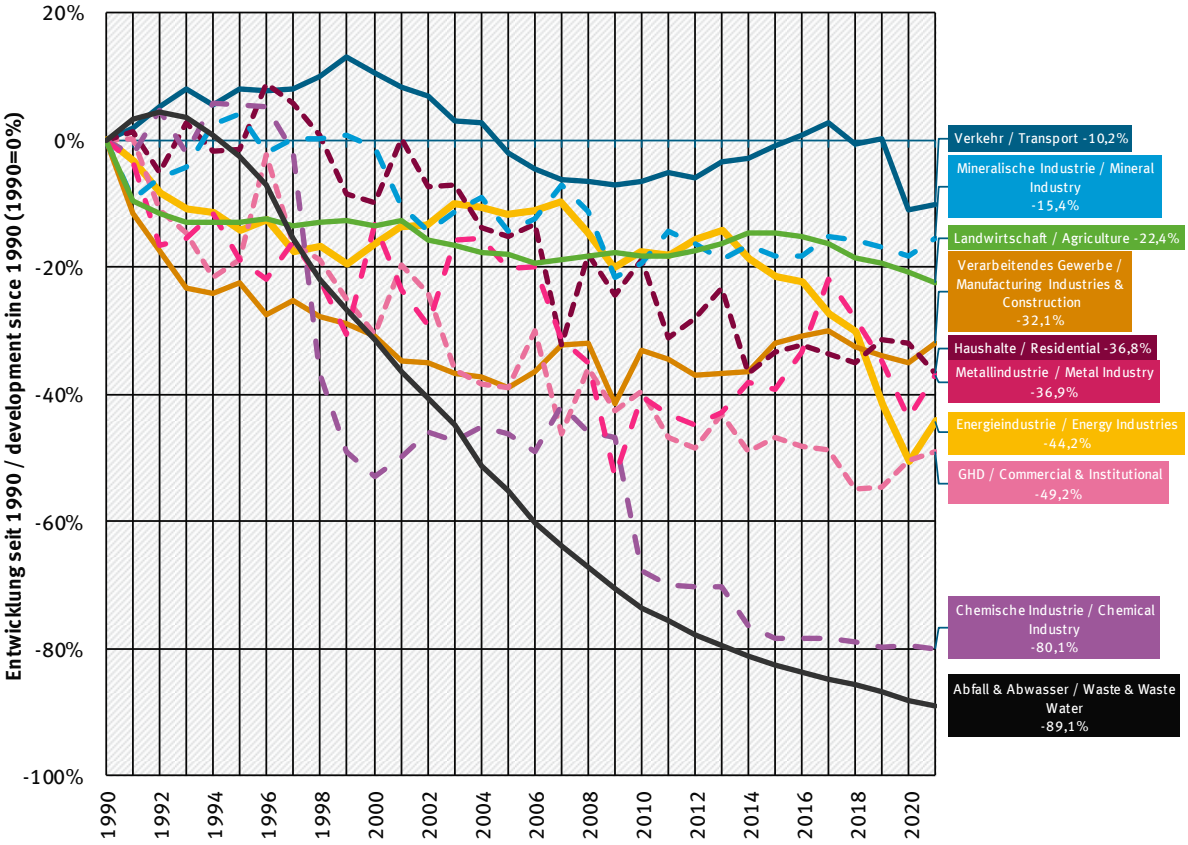


Ohne LULUCF; Tier-2-Unsicherheiten ohne LULUCF (s. Kap. 1.7.1.2)

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 sanken 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.

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

Abbildung 3: Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien[12,]



1 Einleitung

1.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel

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

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

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. 51 %. Die gegenwärtige CO_2 Konzentration von etwa 417 ppm (Global Carbon Project, 2022) 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 mehr als das 2,5-fache auf 1895.6 nmol/mol, während die Konzentration von Distickstoffoxid (N_2O) auf 334,3 nmol/mol gestiegen ist (UBA, 2022). 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.

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[13] vermindern. In der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls wurden die bisherigen Gase um das Gas Stickstofftrifluorid (NF_3) sowie sechs 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[14] zwischen den 28 Mitgliedsstaaten und der Europäischen Union aufgeteilt. Während die Emissionsminderungen der emissionshandelspflichtigen Teile der Inventare auf europäische Ebene umgesetzt wurden, waren die Mitgliedsstaaten für Emissionsminderungen in den nicht-emissionshandelspflichtigen Teilen national verantwortlich. Deutschland war zu einer Minderung seiner Emissionen auf 451,33 Mio. Tonnen CO_2-äquivalent bis 2020 verpflichtet.

Ab dem Jahr 2021 ist die Minderungszusage der Europäischen Union bis 2030 in ihrem National Determinated Contribution (NDC) mit der Europäischen Effort Sharing Regulation auf die 27 Mitgliedsstaaten plus Norwegen und Island aufgeteilt. Deutschland ist hier zu einer Minderung seiner Emissionen auf 300,57 Mio. Tonnen CO_2-äquivalent bis 2030 verpflichtet[15].

Wie schon unter dem Kyoto-Protokoll ist die Wirksamkeit und der Erfolg auch des Übereinkommens von Paris hinsichtlich der Senkung von weltweiten Treibhausgasemissionen von zwei kritischen Faktoren abhängig: Ob die Vertragsstaaten sich an die Regeln des Übereinkommens halten und ihre zugesagten Beiträge erfüllen bzw. ihre Ambition steigen 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.

[13] 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.

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

[15] VERORDNUNG (EU) 2018/842 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013

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. Die nationalen institutionellen Festlegungen in Deutschland erfüllen, wie auch schon in den Jahren bis 2020 die des Artikels 5.1 des Kyoto-Protokolls, die Anforderung der Entscheidung24/CP.19, sowie der Europäischen Governance Verordnung für die Energieunion und für den Klimaschutz[16]

Die nationale Institutionalisierung 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 bis zum Jahr 2011 aufgebaut (Nationales System gemäß Art. 5.1 Kyoto-Protokoll). 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 damalige Nationale System an die Anforderungen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls angepasst und erweitert.

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

1.2.1 Übersicht über die institutionellen, rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Erstellung der Treibhausgas- Inventare

Auf ministerieller Ebene ist das Nationale System 2007 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 worden. Mit der Einbeziehung der damaligen 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) wurden 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 die Institutionalisierung auf bestehenden Institutionen und Datenströmen aufzubauen. Bei Fehlstellen in den Datenströmen sollten diese von den zuständigen Ressorts durch geeignete Aktivitäten geschlossen werden. Zur Begleitung des Prozesses der Berichterstattung richteten die beteiligten Ministerien einen Koordinierungsausschuss ein (siehe Kapitel 1.2.1.1).

Mit der Neustrukturierung der Zuständigkeiten innerhalb der Bundesregierung nach der Bundestagswahl 2021 ist die Zuständigkeit für das Themenfeld nationaler Klimaschutz, und

[16] VERORDNUNG (EU) 2018/1999 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz

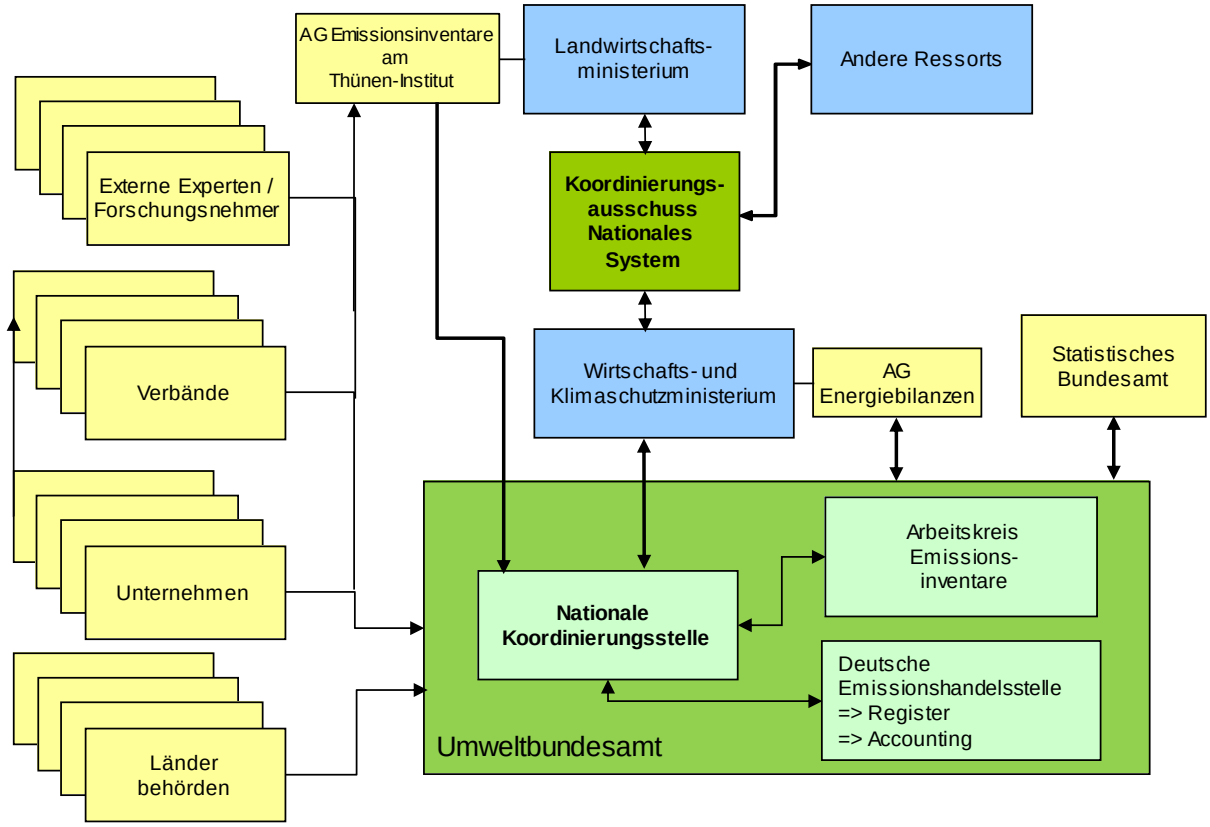
damit auch für die Federführung für die Treibhausgasemissionsberichterstattung, in das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz übergegangen.

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 System der nationalen institutionellen Festlegungen 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 19.1.1 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 BMUV und Einbezug aller an der Emissionsberichterstattung beteiligten Bundesministerien fest. Seit der Neustrukturierung der Zuständigkeiten innerhalb der Bundesregierung, liegt die Federführung für den Koordinierungsauschuss beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Der Koordinierungsausschuss soll den Prozess der Emissionsberichterstattung begleiten und alle zu klärenden Fragen der Institutionalierung 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 dedes Nationalen Inventarberichts.

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

Der Koordinierungsausschuss ist auch nach der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls ein fester Bestandteil der Institutionalisierung der Emissionsberichterstattung in Deutschland.

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 an der Emissionsberichterstattung. 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 der Datenströme.** In die Berichterstattung 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 ddas System der Berichterstattung. Seit dem Jahr 2021 konzentrieren sich die Arbeiten auf Umsetzung der MPG des Erweiterten Transparenzrahmens und die Vorbereitung der Berichterstattung unter dem Übereinkommen von Paris. 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 System der Berichterstattung 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 einen von der Nationalen Koordinierungsstelle erstellten Newsletter zur Datenbank Zentrales Systems Emissionen (ZSE).

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

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 nach 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 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 Jahre 2021 konnten mit beiden Herstellern von Soda (für alle drei Produktionsstätten in Deutschland) Kooperationsvereinbarungen geschlossen werden. Im UBA werden die gemeldeten Daten zur Produktionsmenge zusammengeführt und als Zeitreihe ab 2013 genutzt.

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 der Erstellung der Emissionsinventare

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 BMWK
bis 20. Dezember	Freigabe durch Ressortabstimmung (Einleitung durch BMWK)
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.

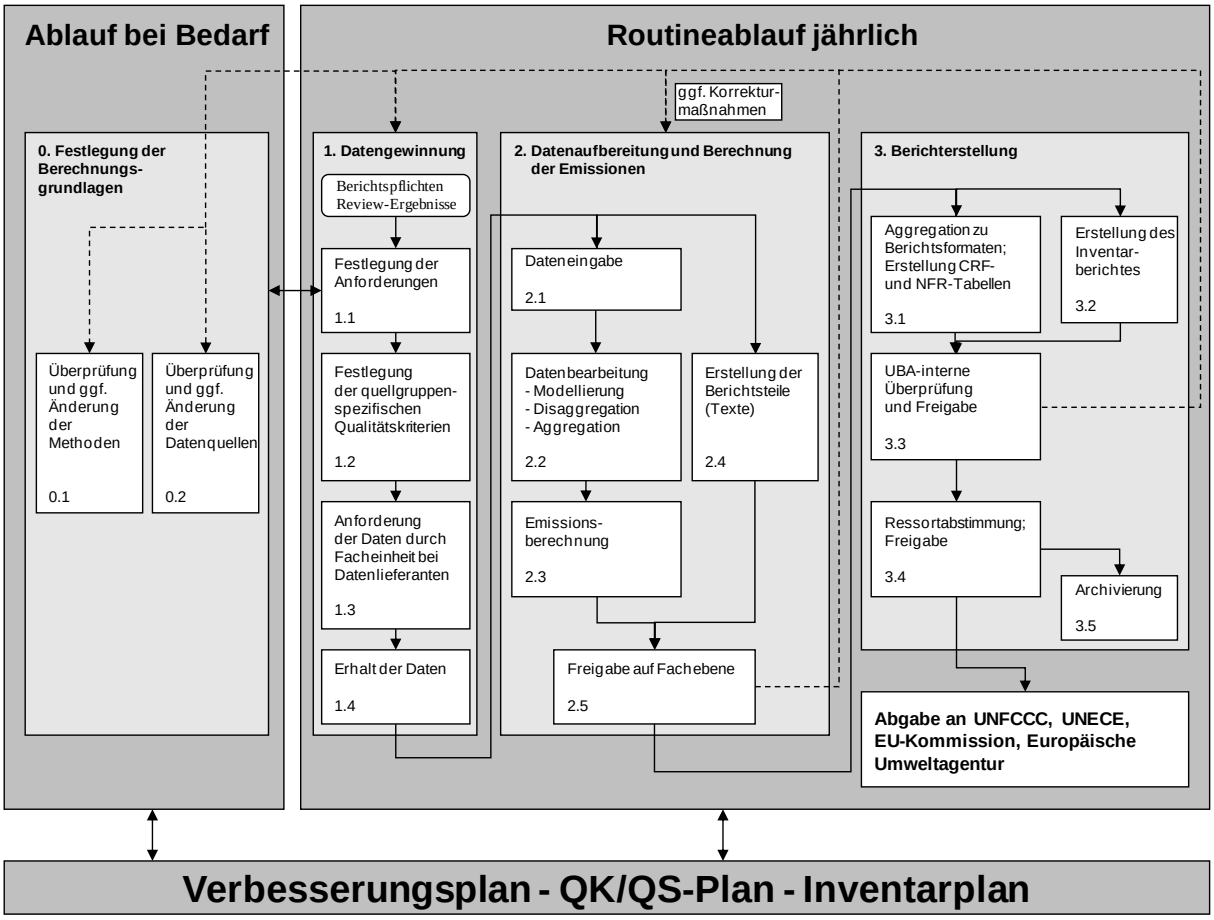
1.2.3 Übersicht der Inventarerstellung und –management

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 und zur Erstellung 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-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 der nationalen institutionellen Festlegungen

Durch die Form der Institutionalisierung der Berichterstattung, 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.

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

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 (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 ab dieses Jahr auf Basis der mit dem *Fifth Assessment Report*[17] veröffentlichten und in folgender Tabelle abgebildeten jeweiligen Treibhauspotentials (GWP), basierend auf den Wirkungen der Treibhausgase über einen Zeithorizont von 100 Jahren.

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-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 19.1.1 entnommen werden.

[17] vgl. Appendix 8.A, Table 8.A.1 in IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

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 19.1.2.1). 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 19.1.1) 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 19.1.2.1.11 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 3).

Tabelle 3: 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
	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.
		kategoriespezifisch benannte Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle

Rolle	Aufgabe	Verantwortlich
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

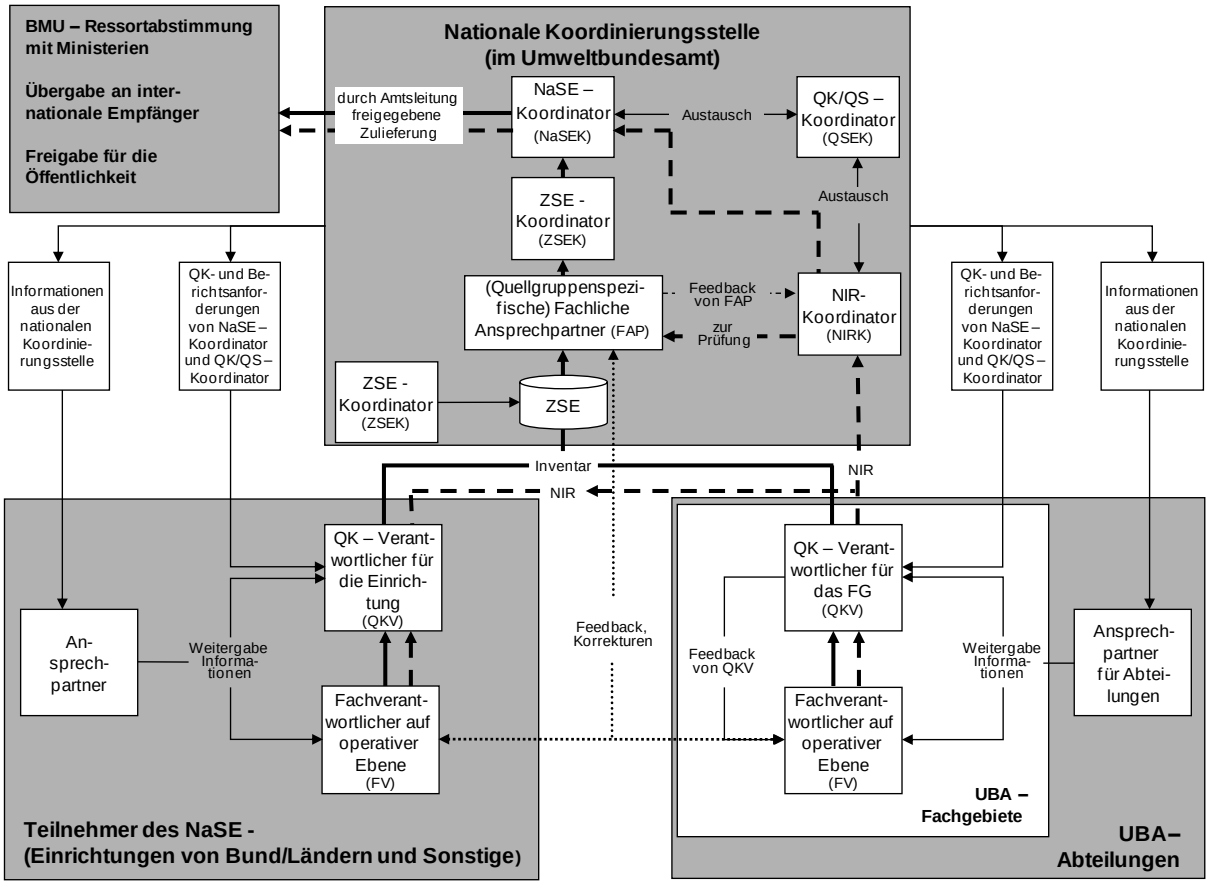
In sehr seltenen Ausnahmefällen kann es vorkommen, dass im UBA die Rolle des Fachverantwortlichen auf operativer Ebene (FV) für eine Kategorie nicht besetzt werden kann. In einem solchen Fall wird das Rollensystem des QSE vollständig von der Nationalen Koordinierungsstelle übernommen, indem es die Rollen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

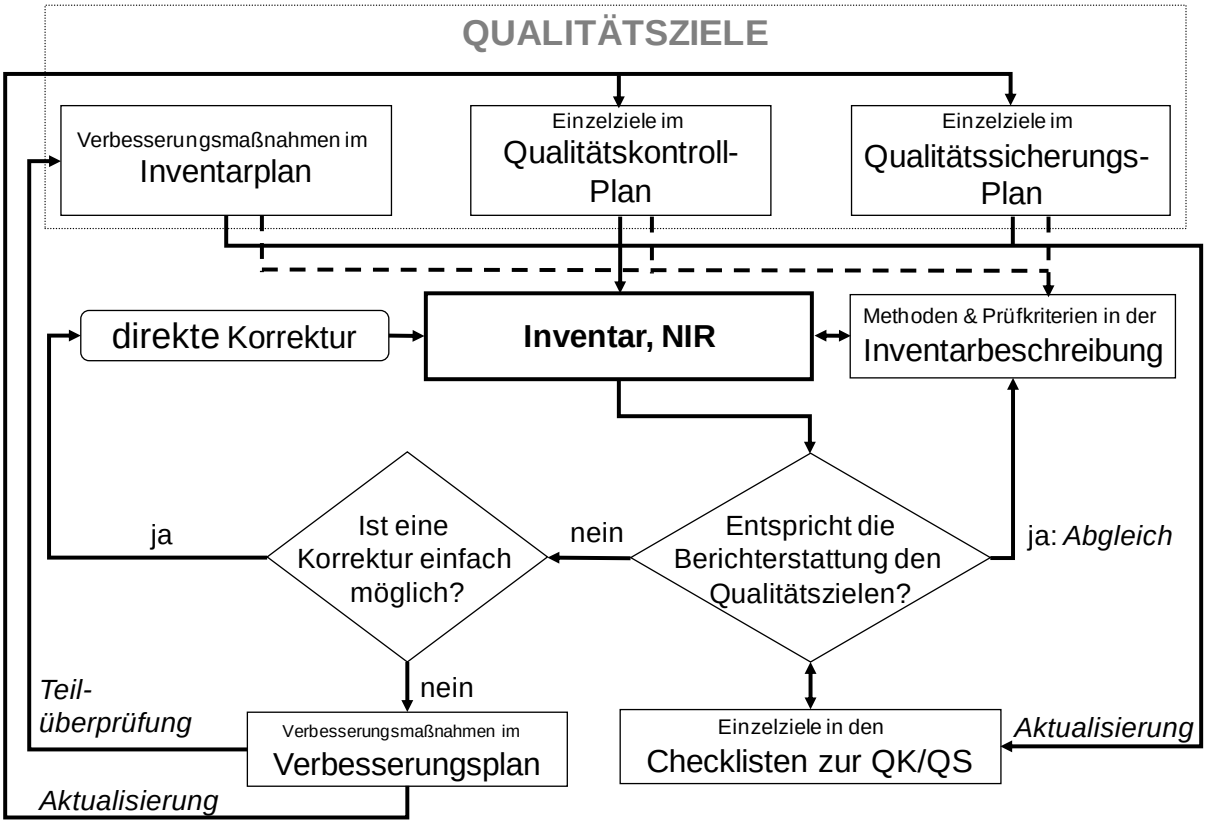


Die durchzuführenden Qualitäts-Prüfungen gemäß Paragraph 25 (f) der *Reporting* Guidelines (24/CP.19)werden den FV, QKV, FAP und dem NIRK (siehe Tabelle 3) in Form von Qualitäts-Checklisten zusammen mit der Datenanforderung zur Verfügung gestellt und im Verlauf der Zuarbeiten ausgefüllt.

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 19.1.2.1) 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[18] 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

[18] 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

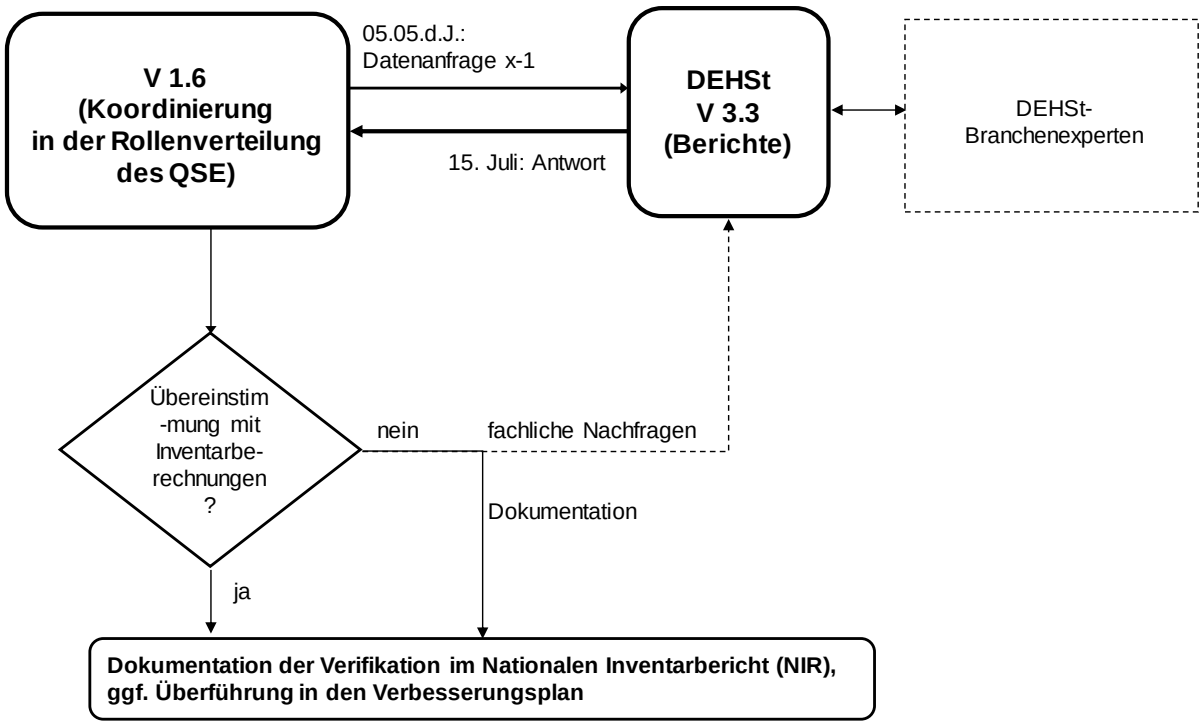
Neben den eigenen Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung geben die Ergebnisse des UNFCCC-Review wichtige Impulse für die Inventarverbesserung. Insofern liegt die Erfüllung der Anforderungen zur Bereitstellung archivierter Inventarinformationen für den Überprüfungsprozess (gemäß Paragraph 27 (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



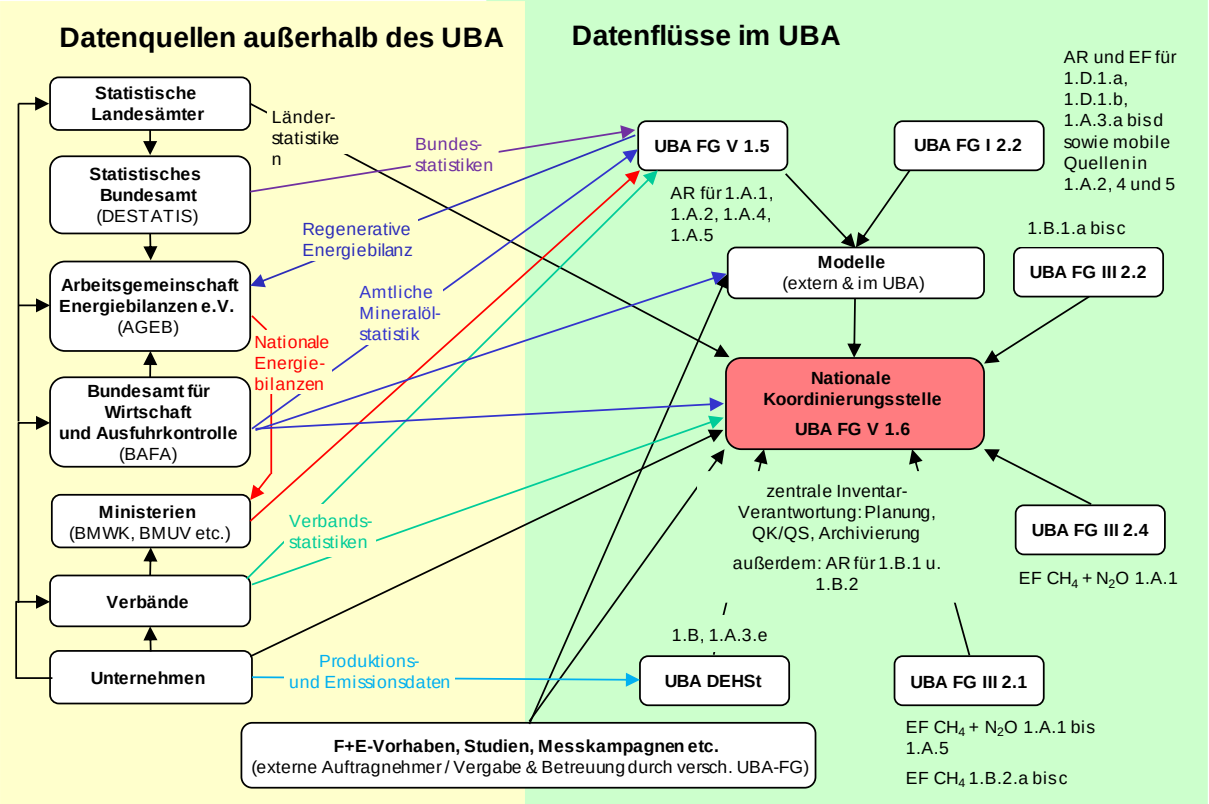
Zu Details der Datenverwendung in der QK/ QS siehe auch Kapitel 1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien.

1.4 Kurze, allgemeine Beschreibung der angewandten Methodik und Datenquellen

1.4.1 Datenquellen

1.4.1.1 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 *„Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland“* (nachfolgend: Energiebilanz), die von der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen* (AGEB) herausgegeben werden und überwiegend auf den amtlichen Statistiken des *Statistischen Bundesamtes* fußen. Für die erneuerbaren Energien werden der AGEB die Daten für die Energiebilanz von der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE)-Stat bereitgestellt. Die Energiebilanz bietet eine Übersicht über die energiewirtschaftlichen Verflechtungen innerhalb der Bundesrepublik und erlaubt eine Aufteilung nach Energieträgern sowie nach deren Aufkommen, Umwandlung und Verwendung. .

Die Beauftragung der AGEB für die Erstellung der Energiebilanzen erfolgte seit 2007 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Im Rahmen von mehrjährigen Aufträgen wurde die AGEB vertraglich zur Anwendung der Mindestanforderungen zur Qualitätssicherung des Nationalen Systems Emissionen verpflichtet. Seit 2012 legt die AGEB einen Qualitätsbericht für die Energiebilanz vor (siehe Kapitel 15.4.1) und erarbeitet einen Aktionsplan „Energiedaten Inventarverbesserung“ (s. Kapitel 15.6),).

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 werden die *Fachserie 4 (Reihe 4.1.1 und Reihe 6.4)* verwendet. 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 die Bilanzierung der Abfalldaten werden vom *Statistischen Bundesamt* Energiestatistiken, sowie der S*tatistische Bericht Abfallentsorgung* verwendet, der alle zwei Jahre veröffentlicht wird (Statistisches Bundesamt, 2022i). Seit dem Jahr 2022 stellt das *Statistische Bundesamt* fast finale Daten für das Vorjahr schon im August zur Verfügung, die auf Basis vorliegender Erhebungsdaten mittels eines sogenannten Imputationsverfahrens hochgerechnet wurden. Auf Basis dieser Daten kann eine wesentlich verbesserte vorläufige Energiebilanz für die Inventarerstellung durch die AGEB bereitgestellt werden.

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 der Energiebilanz, dem Leistungsbericht des Verbandes der Papierindustrie und Berichten der Verbände der Zementindustrie (VDZ) und Kalkindustrie (BV Kalk) 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 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 Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 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.

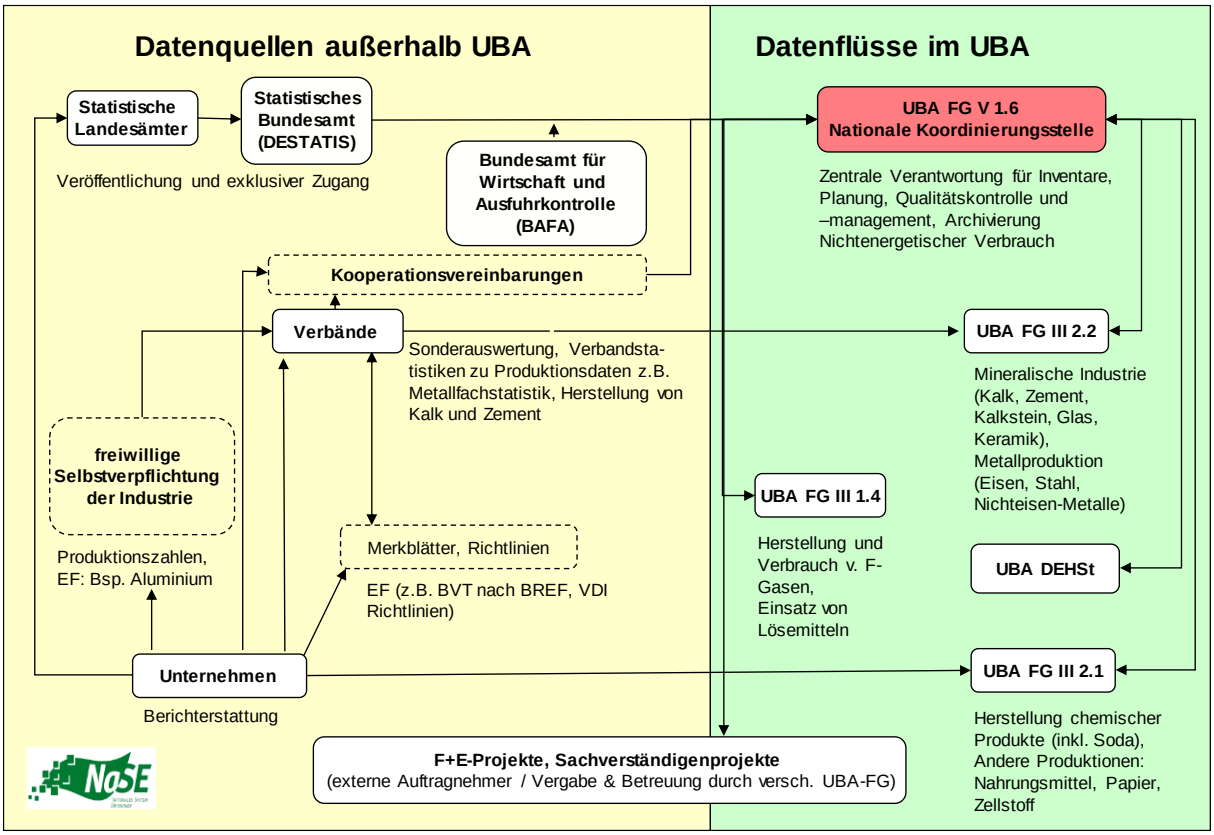
Daten zu den Kategorien der Kategorie 1.B.2 werden aus den Veröffentlichungen des *Statistischen Bundesamtes* , des Mineralölwirtschaftverbandes e.V. (MWV) bzw. dessen Nachfolger, dem Wirtschaftsverband Fuels und Energie e. V. (en2x), der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), des Bundesverbandes 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.

1.4.1.2 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) in Austausch mit der Deutschen Emissionshandelsstelle. 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, stammt aber am aktuellen Rand von den beiden Herstellern (mittels Kooperationsvereinbarung). Die Emissionsfaktoren für die Sodaherstellung 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.

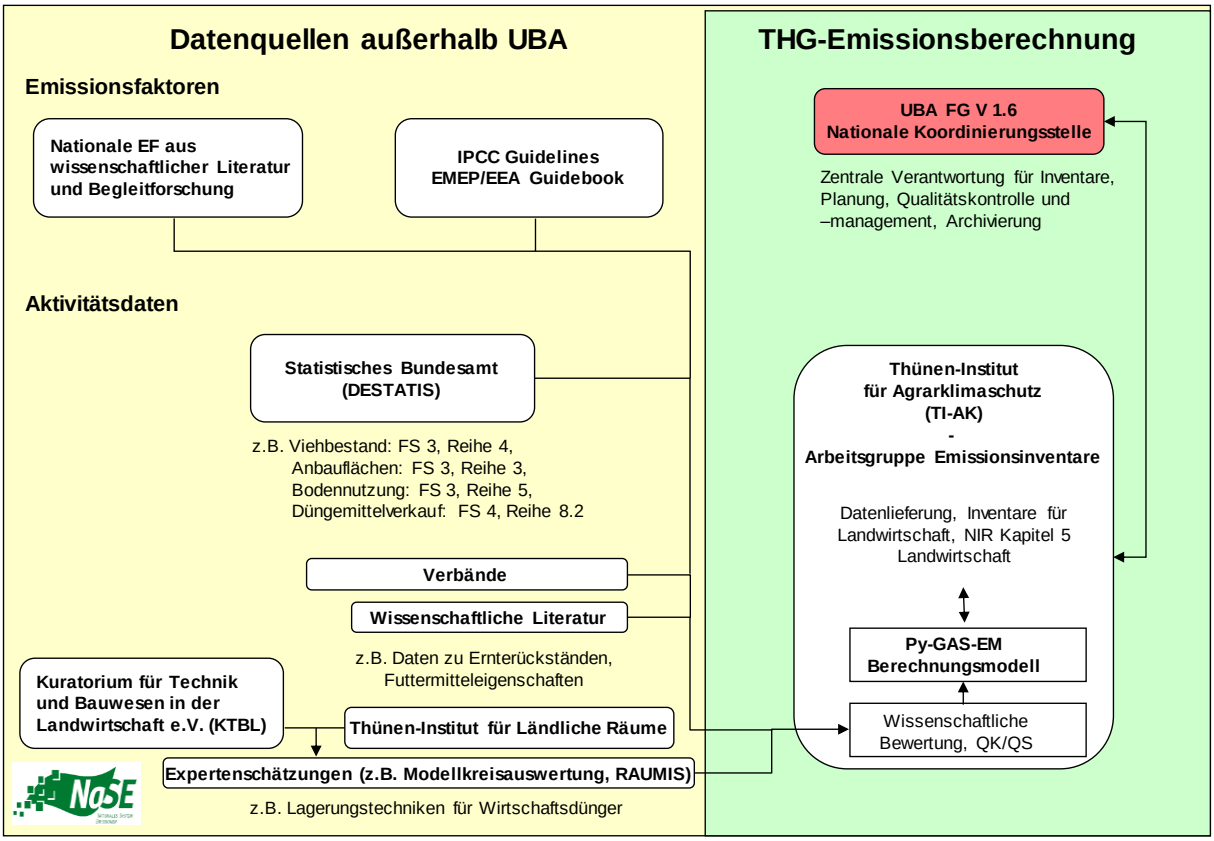
Genauere Angaben zu den Emissionsfaktoren sind in der Methodenbeschreibung der einzelnen Kategorien zu finden. Die Aktivitätsdaten für die Elektronikindustrie (2.E), die Produktverwendung als Ersatz von ODS (2.F) und Andere Produktherstellung und –verwendung (2.G) werden aus Hersteller- und Verbandsangaben, 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.

1.4.1.3 Landwirtschaft

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



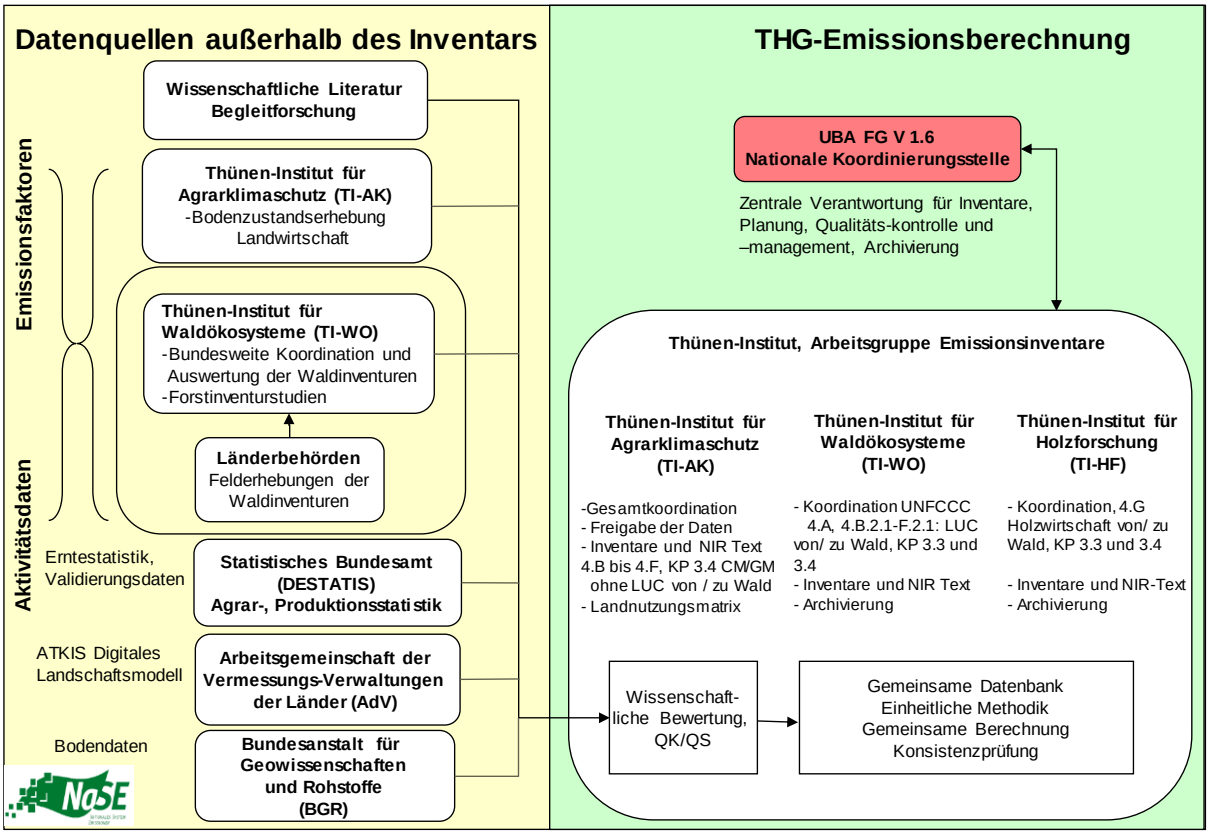
Die Berechnungen der Emissionen für die Kategorie 3 (Landwirtschaft) erfolgen durch das Thünen-Institut (TI). Zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen in Deutschland wurde von BMUB und BMEL ein Projekt initiiert, wonach die damalige FAL ein modulares Tabellenkalkulations-Modell (GASeous EMissions, GAS-EM) entwickelte (Dämmgen et al., 2002; Rösemann et al., 2023) und 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, Futtermittel). 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.

1.4.1.4 Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

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



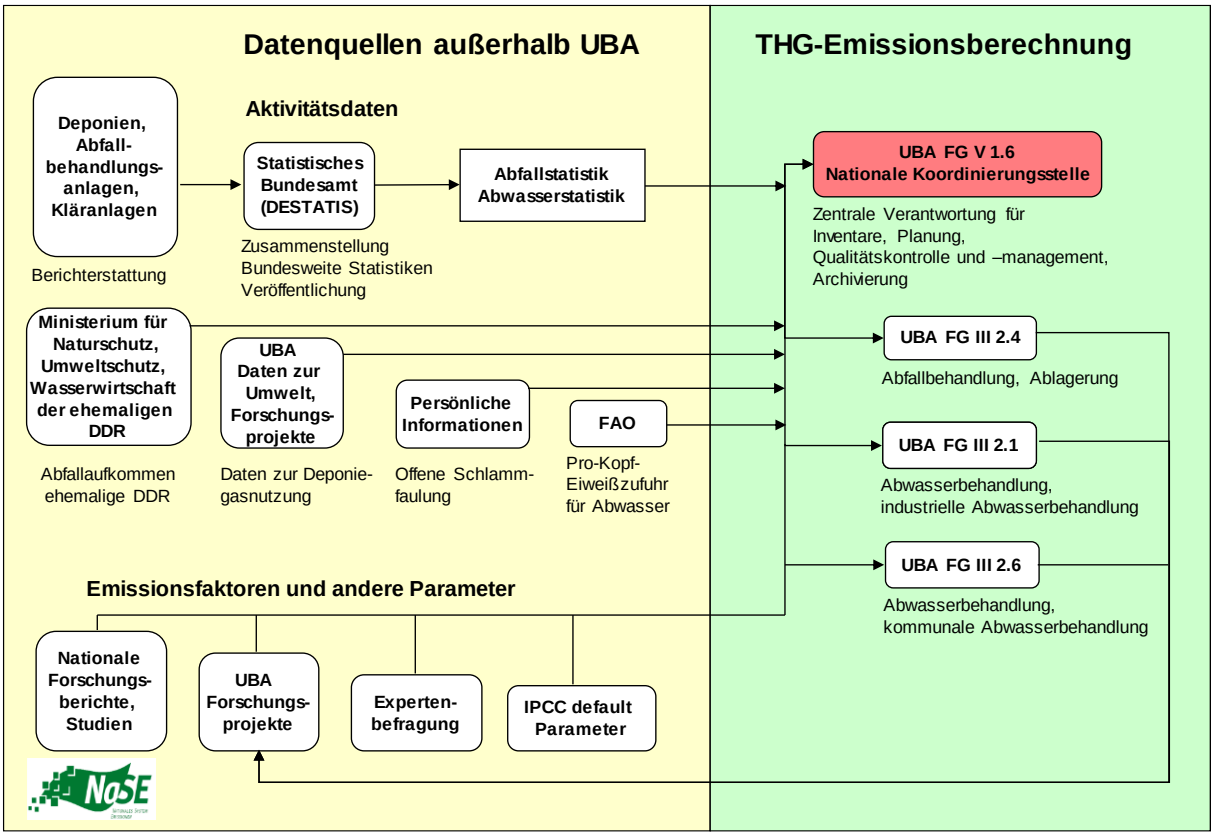
In der Submission 2012 wurde eine konsistente einheitliche Methodik zur Erfassung von Landnutzungsänderungen im LULUC-Sektor und der Forstwirtschaft eingeführt. Die Methodik erweitert das stichprobenbasierte System für die Erfassung der Waldfläche und der Landnutzungsänderungen von und zu Wald auf alle 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.

1.4.1.5 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.

1.4.2 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 Kategorien unterschiedlich detaillierten IPCC-Berechnungsmethoden (engl. *Tier)*[19]. Die Zuordnung der Berechnung zu den verschiedenen IPCC-Methoden hängt vom Anteil der Äquivalentemissionen der Kategorie an den Gesamtemissionen 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.

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

[19] 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.

Unsicherheitenbestimmung. Durch die Bewertung qualitativer Aspekte sind keine neuen Hauptkategorien hinzugekommen (Erläuterungen hierzu siehe Anhangkapitel 14.1.2).

Im Ergebnis wurden in der aktuellen Berichterstattung im Methode -1-Verfahren insgesamt 51 der untersuchten 172 Quell- bzw. Senkengruppen als Hauptkategorie identifiziert. 32 hiervon wurden gleichzeitig durch die Trend- und Levelanalysen als Hauptkategorie ermittelt. Zusätzlich wurden 14 Kategorien nur durch die Trend- bzw. 5 Kategorien nur durch die jeweiligen Levelanalysen als Hauptkategorie identifiziert. Im Methode-2-Verfahren wurden 17weitere Hauptkategorien identifiziert (s. Tabelle 6).

Letztendlich wurden damit 68 Hauptkategorien festgelegt, die in Tabelle 4 zusammengefasst dargestellt sind.

Tabelle 4: Anzahl der Kategorien und Hauptkategorien

Kategorie			**171**
			Hauptkategorien
nach Level	Level & Trend	Trend	
5	32	14	**51 (Methode 1)**
			+17 (Methode 2)
			68 (gesamt)

Eine Übersicht der Ergebnisse der Hauptkategorienanalyse nach Methode 1 ist in Tabelle 5 zusammengestellt. In Tabelle 6 sind die aufgrund der Methode 2 Analyse hinzugekommenen Hauptkategorien dargestellt. Detaillierte Darlegungen zur durchgeführten Hauptkategorien-Analyse sind im Anhang 1 (Kapitel 14) 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 auf 51 Hauptkategorien erhöht.

Drei Hauptkategorien sind hinzugekommen.

- CH_4 Emissionen aus Transport – Straßenverkehr (1.A.3.b)
- CH_4 Emissionen aus Feuchtgebieten (4.D)
- 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.

Tabelle 5: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz, mit GWP des IPCC AR5

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2021	Level 2020 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +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 b, Residential		CH4	-	-	-	-	-	-	•	-	-/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/T
2 A 1, Cement Production		CO2	•	•	•	•	•	•	•	•	L/T
2 A 2, Lime Production		CO2	•	•	•	•	•	•	•	•	L/T
2 B 1, Ammonia Production		CO2	•	•	•	•	•	•	-	-	L/-
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	-	-	-	-	-	-	•	•	-/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	-	-	-	-	-	-	•	•	-/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

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2021	Level 2020 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +LULUCF	KCA decission
2 G, Other Product Manufacture and Use		SF6	•	•	•	•	•	•	•	•	L/T
3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH4	•	•	•	•	•	•	•	•	L/T
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	•	•	•	•	•	•	-	-	L/-
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	-	-	-	-	•	•	•	•	L/T
3 B, Manure Management	swine	CH4	•	•	•	•	•	•	-	-	L/-
1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
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 D, Wetlands		CH4	-	•	-	•	-	•	-	•	L/T
4 E, Settlements		CO2	-	-	-	-	-	-	-	•	-/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 6: Hauptkategorien für Deutschland, die sich nur aufgrund des Methode 2-Ansatzes ergeben

IPCC Source Categories	Activity	Emissions of
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N2O
1 A 4 b, Residential		N2O
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2
1 B 2 c, Venting and Flaring		CO2
2 C 2, Ferroalloys Production		CO2
2 C 3, Aluminium Production		CO2
2 D 2, Paraffin Wax Use		CO2
3 B, Manure Management	dairy cows	N2O
3 B, Manure Management	non dairy cattle	N2O
3 B, Manure Management	deposition	N2O
3 J, Other		N2O

IPCC Source Categories	Activity	Emissions of
4 A, Forest Land		N2O
4 B, Cropland		N2O
4 C, Grassland		CH4
4 E, Settlements		N2O
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N2O
5 D 1, Domestic Wastewater		N2O

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 19.1.2.1.11). 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 19.1.2.1.10.3) 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 7 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 7: Inventarplan – offene Handlungsbedarfe

Hauptkategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung / Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
Energy	1.A.3.d, 1.B.2.b	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, ARR	2017, 2022
Industrial Processes	2.A.4.b.		Sonstige	2020
LULUCF	4		NIR	2023
Energy	1.A.3.d.(a), 1.A.4.	Überprüfung, ob Datenlücken in Zeitreihen vorliegen.	CHKL	2020, 2023
Energy	1. fossil fractions of biofuels, 1.B.2, 1.B.2.a	Überprüfung, ob die Quellgruppe vollständig durch die Datenquelle abgedeckt wird und die Datenzuschnitte der EF und AR übereinstimmen.	NIR, ARR	2020, 2022, 2023
Industrial Processes	2.B.2, 2.C.2, 2.C.3.a		Audit, NIR	2016, 2023
Energy	1.A.4.c.iii, 1.A.5.b.(iii)	Überprüfung, ob die Unsicherheiten ermittelt wurden und vollständig und aktuell sind.	CHKL	2012, 2020, 2023
Industrial Processes	2.B.7, 2.B.10.(i), 2.C.3.a., 2.D.3.(b)		Audit, CHKL	2012, 2016, 2018, 2021-23
Waste	5.D.1		CHKL, Sonstige	2019+20
General	0.	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	Audit, ARR, CHKL	2015+16, 2018. 2022
Energy	1.A, 1.A.3.a+c+d.(a+b)+e., 1.A.4.c.iii,, 1.A.5.b (i+ii+iii), 1.B.2		ARR, CHKL	2018-20, 2022+23
Industrial Processes	2.A.1+3+4a, 2.B.3+8+10(i), 2.C.3.a., 2.D, 2.D.1.(b), 2.D.3.(a,d,e,f,g,h,i)+j		Audit, CHKL	2016, 2018-20, 2023
Agriculture	3.D.a.2.c + 3.D.b		ARR	2020
LULUCF	4.A		ARR	2020
Waste	5.A.1, 5.B.1+2, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		Audit, CHKL	2016, 2019, 2022+23
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+23
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, 2018
Energy	1.A.1, 1.A.2+f, 1.A.3.d., 1.A.4.a.i.+b.i+c.i+iii., 1.A.5.a+b.(iii), 1.D.1.a.		ARR, Audit, CHKL, Sonstige	2015+16, 2022+23
Industrial Processes	2.B.1, 2.B.7, 2.B.10.(i), 2.C.2+3a+5+6, 2.G.3.a.		Audit, CHKL	2015+16, 2019-23
LULUCF	4.B.1. + 4.C.1.		ARR	2020
Waste	5.A.1, 5.B.1+2, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		CHKL, Sonstige	2018-20, 2022+23
General	0.	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+e., 1.A.4.a.ii.+b.ii+c.ii, 1.A.5.b, 1.AD, 1.B.2.a+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, 2.C.2., 2.C.3.a., 2.E.3		ARR, Audit, CHKL	2016, 2020, 2023
Waste	5.B.2		ARR	2020
Industrial Processes	2.H.2.	Überprüfung, ob die EF vollständig und plausibel (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	NIR	2021
Waste	5.D.1		ARR	2022

Hauptkategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung / Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
Industrial Processes	2.A.3, 2.C.2	Überprüfung, ob die AR vollständig (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	ARR, Audit	2016, 2018, 2022
Agriculture	3.D.a.2.b		ARR	2022
LULUCF	4., 4.D		NIR	2023
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
General	0.	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	2022
Energy	1., 1.A.1.a , 1.A.3.b.i, 1.AD, 1.B.2,		ARR	2015+16, 2022
Industrial Processes	2.B.3+9+10.(i), 2.C.2+5+6, 2.F.1+2, 2.G.3.b.(ii)		ARR, CHKL	2015+16, 2019+20, 2022+23
Agriculture	3.B.1, 3.D.a		ARR	2022
Waste	5.A.1, 5.B.1, 5.D.1, 5.E.1.(a)		ARR, CHKL	2018, 2022+23
Energy	1.A	Überprüfung, ob Rekalkulationen durchzuführen sind. Falls dies der Fall ist, sind sie nachvollziehbar zu dokumentieren.	ARR	2018
Industrial Processes	2.A.4.b.		ARR	2020
General	0.	Handlungsbedarfe unterschiedlichen Inhalts.	Sonstige	2014, 2016
Energy	1., 1.A.1, 1.A.2, 1.A.2.g.vii, 1.A.3.b+c+d(a+b), 1.A.4.a.i+ii+b.i+ii+c, 1.A.5.b., 1.B.2.c. - Flaring		ARR, CHKL	2015, 2017-23
Industrial Processes	2.B.7+8+10.(i), 2.C.3.a.		Audit, CHKL, NIR	2015+16, 2021+22
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+d, 2.D.2, 2.D.3.a,b,d,e,f,g,h,i, 2.G.3.a.+b(ii), 2.G.4.(c)		CHKL, Sonstige, NIR	2012, 2019, 2023
Waste	5.D.1	Initiierte Forschungsprojekte zur Inventarverbesserung.	NIR	2016, 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 80 Verbesserungsbedarfe neu erkannt worden, Zu diesen gehören etwa 40 Handlungsempfehlungen des ARR 2022 (neue, sowie reaktivierte alte Empfehlungen). Rund 90 Handlungsbedarfe konnten erledigt werden.

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

In der Übersicht der Tabelle 8 werden detailliertere Informationen zu den erledigten Verbesserungsbedarfen gegeben. In beiden Tabellen (Tabelle 7 & Tabelle 8) sind Reviewergebnisse ab 2010, im NIR getroffene Aussagen zu geplanten Verbesserungen ab 2012, sonstige Verbesserungsbedarfe ab 2014 sowie CHKL-Ergebnisse der Jahre ab 2012 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 470 (Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen) und für die im NIR getroffenen Aussagen zu geplanten Verbesserungen unter Tabelle 471 (Zusammenfassung der

mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen) eingesehen werden.

Tabelle 8: Inventarplan - erledigte Handlungsbedarfe/Verbesserungen

Hauptkategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
LULUCF	4, 4.B-E. 4.(V), KP	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, NIR	2020, 2022
LULUCF	4	Überprüfung, ob die Quellgruppe vollständig durch die Datenquelle abgedeckt wird und die Datenzuschnitte der EF und AR übereinstimmen.	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
Waste	5.A.1, 5.B, 5.D.2		Audit, Sonstige	2016, 2020
Energy	1.A.2.e+g.vii., 1.A.3.a-c+d.(b), 1.A.4.a.ii.+b.ii.+c.ii., 1.A.5.b.(iii)	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	CHKL	2013, 2019-2022
Industrial Processes	2.D.1.(b)		CHKL	2021
LULUCF	KP		ARR	2020
Waste	5.A.1, 5.B.1.+2		Audit, CHKL	2016, 2020+21
General	0.	Überprüfung, ob die Anforderungen zum Abgleich und zur Verifizierung von Daten bzw. zugrunde liegender Annahmen erfüllt werden.	ARR	2015+16
Energy	1.A.3.d.(a), 1.A.4.c.iii., 1.A.5.b.(iii)		CHKL	2023
LULUCF	KP		ARR	2020
Waste	5.B.1.+2		CHKL, Sonstige	2019, 2022
Energy	1.A.2.g.vii., 1.A.3.b+c+d.(a+b), 1.A.4.a.ii.+c.ii+c.iii, 1.A.5.b.(iii)	Überprüfung, ob die Anforderungen an die Datenkonsistenz erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar sind.	CHKL	2022
Industrial Processes	2.D.1.(b), 2.D.3.(j)		CHKL	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.		ARR	2018
Waste	5.A.1		ARR, NIR	2018-20
Energy	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.	CHKL	2021
Waste	5.D.2		CHKL	2018
Agriculture	3.D	Handlungsbedarfe unterschiedlichen Inhalts.	CHKL	2022
LULUCF	KP		ARR	2020
Industrial Processes	2.A.4.c.	Überprüfung ob Zuständigkeiten aktualisiert werden müssen.	Sonstige	2019
Waste	5.A.1	Initiierte Forschungsprojekte zur Inventarverbesserung.	ARR	2015+16

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 19.1.4. 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 19.1.4 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 19.1.4.

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 15.7.

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 (Volker 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.

1.6.3 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

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 (V. 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 2021 beträgt 3,2 %, bei Approach 2 ergeben sich -2,9/+3,3%. Die folgende Tabelle bietet eine kompakte Übersicht der Unsicherheiten des Gesamtinventars:

Tabelle 9: Übersicht Unsicherheiten Gesamtinventar

	Base year	2021	Trend	Method	Base year uncertainty		2021 uncertainty		Trend uncertainty	
	kt	kt	%		%		%		%	
National total incl. LULUCF	1.290.897	764.356	-40,79	Approach 1	3,83		3,22		3,63	
				Approach 2	-2,94	+3,07	-2,93	+3,26	-10,20	+10,89
National total w/o LULUCF	1.254.922	760.358	-39,41	Approach 1	3,95		3,11		2,98	
				Approach 2	-2,28	+2,47	-1,96	+2,39	-6,96	+7,44

Die Übersicht zeigt die Unsicherheiten des deutschen Gesamtinventars jeweils inklusive sowie ohne CRF 4. Für beide Fälle sind Unsicherheiten für das Basisjahr, für 2021 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 0). 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.

1.8 Generelle Prüfung der Vollständigkeit

Angaben zur Vollständigkeit für die einzelnen Kategorien wird in CRF-Tabelle 9(a) dargestellt, die im NIR zusätzlich in Kapitel 18 (Tabelle 516 und Tabelle 517) 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.

2 Trends der Treibhausgase

In der folgenden Tabelle 10 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 11 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 39,2 %[20].

Alle detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion finden sich im Anhangkapitel 19.3.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr 2020 stiegen die Gesamtemissionen um 4,0 %. Grund für den Wiederanstieg ist vor allem der Wiederanstieg der Emisionen der Energiewirtschaft nach dem deutlichen Rückgang in 2020. Besonders deutlich stiegen die Emissionen aus den öffentlichen Stein- und Braunkohlenkraftwerken aufgrund des erhöhten Kohleeinsatzes an. Der Einsatz von emissionsärmerem Erdgas nahm dagegen in der zweiten Jahreshälfte aufgrund der deutlich gestiegenen Gaspreise ab. Die wesentlichen Gründe für den erhöhten Einsatz von Stein- und Braunkohlen zur Stromerzeugung sind die, im Vergleich zum Vorjahr, deutlich verringerte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere die geringere Windstromerzeugung.

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

Tabelle 10: 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	2021
								(kt)								
CO_2 emissions (without LULUCF)	**1.054.741**	**939.897**	**898.938**	**865.471**	**831.130**	**807.614**	**812.816**	**833.804**	**794.739**	**798.085**	**801.745**	**785.986**	**754.811**	**707.491**	**647.252**	**678.799**
Net CO_2 emissions/removals	1.083.501	909.585	891.603	865.778	820.839	791.170	787.704	809.946	778.062	779.213	780.350	767.606	739.346	692.963	643.742	675.066
CH_4 (without LULUCF)	**4.736**	**4.130**	**3.430**	**2.592**	**2.146**	**2.091**	**2.103**	**2.068**	**2.013**	**1.996**	**1.935**	**1.905**	**1.825**	**1.724**	**1.680**	**1.632**
CH_4 (with LULUCF)	4.962	4.356	3.656	2.821	2.379	2.324	2.336	2.301	2.246	2.230	2.169	2.139	2.063	1.958	1.915	1.866
N_2O (without LULUCF)	**195**	**185**	**123**	**126**	**104**	**104**	**104**	**105**	**106**	**106**	**106**	**104**	**100**	**97**	**94**	**93**
N_2O (with LULUCF)	198	189	126	130	108	108	108	109	111	111	110	108	104	101	98	98
F-Gases sum (CO_2 equivalent, 1995 base year)	**12.324**	**16.021**	**12.735**	**13.576**	**13.701**	**13.880**	**14.056**	**14.085**	**14.085**	**14.523**	**14.619**	**14.710**	**13.879**	**13.212**	**11.697**	**11.104**
Total Emissions (without LULUCF) (CO_2 equi.)	**1.251.225**	**1.120.661**	**1.040.192**	**984.987**	**932.379**	**907.502**	**913.348**	**933.505**	**893.394**	**896.658**	**898.560**	**881.583**	**846.171**	**794.634**	**730.923**	**760.358**
Total Emissions/Removals with LULUCF (CO_2 equi.)	1.287.200	1.097.542	1.040.041	992.819	929.723	898.693	895.881	917.293	884.395	885.486	884.832	870.878	838.514	787.811	735.120	764.356
NO_X	**2.847**	**2.172**	**1.868**	**1.617**	**1.458**	**1.437**	**1.432**	**1.435**	**1.391**	**1.366**	**1.332**	**1.276**	**1.188**	**1.104**	**974**	**966**
SO_2	**5.464**	**1.743**	**643**	**473**	**403**	**388**	**369**	**357**	**336**	**334**	**310**	**301**	**290**	**260**	**241**	**254**
NMVOC	**3.949**	**2.363**	**1.814**	**1.490**	**1.363**	**1.274**	**1.258**	**1.213**	**1.173**	**1.147**	**1.139**	**1.143**	**1.096**	**1.066**	**1.029**	**1.044**
CO	**13.354**	**7.234**	**5.146**	**3.863**	**3.536**	**3.457**	**3.206**	**3.168**	**3.000**	**3.102**	**2.973**	**2.981**	**2.863**	**2.756**	**2.454**	**2.587**

Tabelle 11: 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 2020	Base Year to 2021	compared to prev. year (2020 – 2021)
CO_2 emissions (without LULUCF)	***1990***	**-38,6**	**-35,6**	**+4,9**
Net CO_2 emissions/removals	1990	-40,6	-37,7	+4,9
CH_4 (without LULUCF)	***1990***	**-64,5**	**-65,5**	**-2,9**
N_2O (without LULUCF)	***1990***	**-51,7**	**-52,0**	**-0,6**
F-Gases sum	***1995***	**-28,6**	**-32,0**	**-4,7**
Total Emissons (without LULUCF)	**1990**	**-41,4**	**-39,2**	**+4,0**
NO_X	***1990***	**-65,8**	**-66,1**	**-0,9**
SO_2	***1990***	**-95,6**	**-95,3**	**+5,4**
NMVOC	***1990***	**-74,0**	**-73,6**	**+1,5**
CO	***1990***	**-81,6**	**-80,6**	**+5,4**

2.1 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für aggregierte Treibhausgasemissionen

Von 1990 bis zum Jahr 2021 konnten die Treibhausgasemissionen mit einem Rückgang von 39,2 % deutlich reduziert werden[21]. 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;

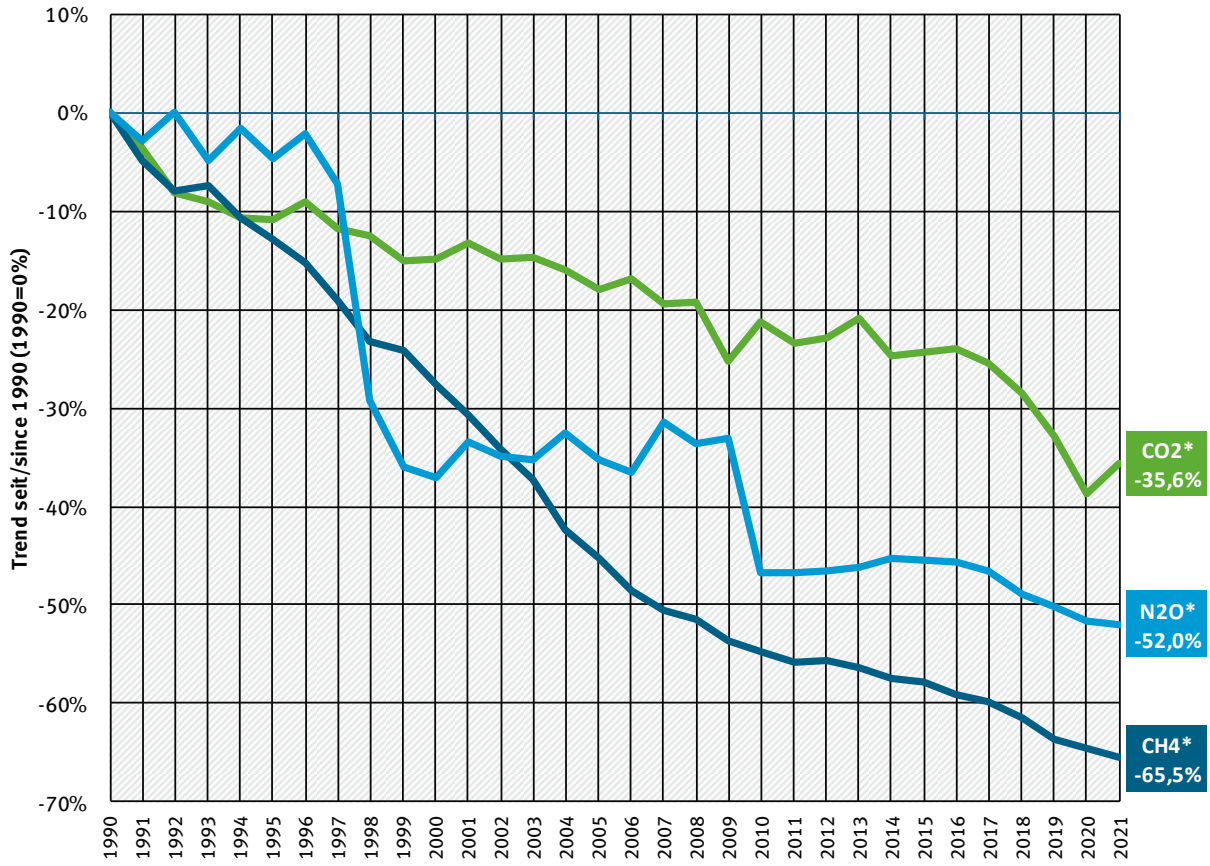
Die Ursachen werden nachfolgend in der Trenddiskussion der einzelnen Treibhausgase näher ausgeführt.

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.

[21] 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



* 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 (vgl. Abbildung 15).

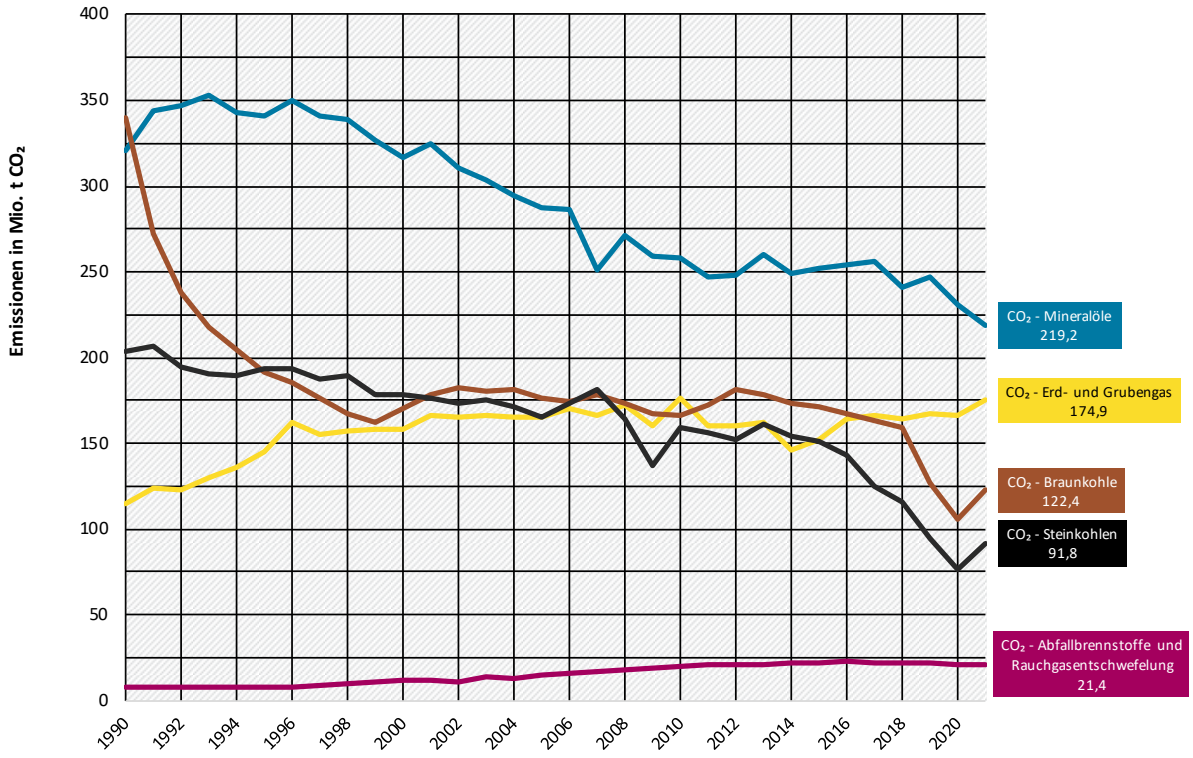


Abbildung 15: Kohlendioxid-Emissionen nach Brennstoffen

Etwas anders sieht die Entwicklung nur im vom Straßenverkehr dominierten Verkehrssektor aus: Die CO_2-Emissionen stiegen hier bis 1999 auf fast 184 Mio. t. an, gingen dann aber durch Verbrauchssenkungen, die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland[22], die Substitution von Benzin durch Diesel[23] 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. Die Jahr 2020 und 2021 liegen v.a. bedingt durch diverse Sondereffekte mit 145 bzw. 146 Mio. t. deutlich unterhalb des langjährigen Trends.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr stiegen die CO_2-Emissionen vor allem der mengenmäßig dominierenden Energiewirtschaft wieder stark an (+13,0 % bzw. knapp 27 Mio. t), auch die Emissionen des verarbeitenden Gewerbes stiegen nach 2020 wieder deutlich (+4,6 % bzw. +5,5 Mio. t), ebenso die Emissionen aus den Industrieprozessen (+6,4 % bzw. +2,7 Mio. t). Der Verkehr emittiert leicht über dem niedrigen Niveau des Vorjahrs, während die Emissionen der Haushalte dagegen deutlich sanken (-7,1 % bzw. -6,3 Mio. t).

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

[23] 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.

2.2.2 Lachgas (N_2O)

Die N_2O-Emissionen sanken seit 1990 um ca. 52 %. 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 98 % 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 leicht (-0,6 %), bedingt durch weiterhin sinkende Emissionen der auch mengenmäßig dominierenden Landwirtschaft (-1,4 %). Die deutlichen Anstiege der Emissionen aus der Energiewirtschaft (+10,1 %) dämpfen diesen Effekt jedoch.

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 65,5 % 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 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 95 %. 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 2,9 %. Die mengenmäßig größten Rückgange sind bei Emissionen aus der Landwirtschaft, den Deponien, und den Diffusen Emissionen aus Brennstoffen zu beobachten. Die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stiegen jedoch gegenüber dem letzten Jahr.

2.2.4 F-Gase

Die Emissionen der F-Gase machen im jahr 2021 nur etwa 1,5 % der Gesamtemissionen aus. Sie sanken seit 1995 (dem Basisjahr für die F-Gase) um 32 %, 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 38,5 % ab. Die darin enthaltenen Emissionen des Verkehrs sanken v.a. aufgrund von Sondereffekten im Zeitraum um etwa 10,2 %. 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 525 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 38,7 %, und steigenden Emissionen im Vergleich zum Vorjahr 2020.

Landwirtschaft

Die Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen um 22,4 % 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 Nettoemissionen des LULUCF-Sektors werden im Wesentlichen von der Waldbiomasse und dem dazu in Beziehung stehenden Holzproduktespeicher beeinflusst. Durch den Einfluss natürlicher Störungen (z.B. Kalamitäten wie Trockenheit, Sturmbruch, Insektenbefall) auf die Kohlenstoffvorräte der Waldbiomasse können die gleichbleibend hohen Gesamtemissionen aus den organischen Böden und den Gewässern nicht mehr ausreichend kompensiert werden. Dadurch wird der gesamte Sektor LULUCF in den Jahren 1990, 2002-2007, 2020 und 2021 zur Quelle von Treibhausgasemissionen.

Gegenüber dem Basisjahr zeigt nur die Landnutzungskategorie Grünland im Langzeittrend eine deutliche und eindeutig gerichtete Abnahme der Emissionen. Im Folgenden wird auf die Trendverlauf der Landnutzungskategorien eingegangen.

Wald: 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.

Ackerland: Die Gesamtemissionen in 2021 sind im Vergleich zum Basisjahr um 7 % gestiegen. Hauptgrund für die Gesamtentwicklung ist die Zunahme der Emissionen aus mineralischen Böden, hauptsächlich bedingt durch Grünlandumbruch.

Grünland: Die Gesamtemissionen in 2021 haben im Vergleich zum Basisjahr um 13 % abgenommen. Die Emissionen bilden die Summe aus den Unterkategorien Grünland im engeren Sinne (i.e.S), Gehölzen und Hecken, die sich hinsichtlich der Emissionen sowohl quantitativ als

auch qualitativ deutlich voneinander unterscheiden. Der Verlauf der Zeitreihe der Gesamtemissionen wird durch die Unterkategorie Grünland i.e.S. in der absoluten Emissionshöhe dominiert, insbesondere durch die Emissionen aus den organischen Böden. Ebenfalls beeinflußen die Emissionen bzw. Einbindungen aus der Biomasse sowie aus den Mineralböden den Verlauf. Während die Kohlenstoffeinbindungen der Biomasse bzw. CO_2-Emissionen zwischen den Jahren Schwankungen unterliegen, wirken die Mineralböden als Senke. Die Senkenleistung zeigt im Zeitverlauf einen hochsignifikant negativen Trend, d.h. die Senkenleistung der mineralischen Böden hat zugenommen.

Feuchtgebiete/ Wetlands: Der Trendverlauf 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. Der Trend in der Kategorie kann im Wesentlichen auf die CO_2-Freisetzung aus organischen Böden und Methanemissionen aus fließenden und stehenden künstlichen Gewässern zurückgeführt werden. CO_2-Emissionen werden zu fast gleichen Teilen infolge des Torfabbaus sowie der Entwässerung terrestrischer organischer Böden verursacht.

Siedlungen: Der Trend in der Landnutzungskategorie Siedlungen ist ebenfalls 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.

Abfall und Abwasser

Die deutlichste Emissionsminderung von 89,1 % 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 93,1 % im Bereich der Deponieemissionen verursacht. Die ebenfalls zur Kategorie Abfall & Abwasser gehörenden Emissionen aus der Abwasserbehandlung treten mengenmäßig deutlich hinter den Deponieemissionen zurück, sanken jedoch ebenfalls sehr stark.

Die detaillierten Daten finden sich in Tabelle 526 in Anhangkapitel 19.3.

Tabelle 12: 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	2021
1. Energie	0,0%	-11,6%	-16,4%	-20,2%	-23,4%	-25,7%	-25,0%	-23,0%	-26,9%	-26,5%	-26,4%	-28,3%	-31,2%	-35,7%	-41,3%	-38,5%
2. Industrieprozesse	0,0%	1,6%	-17,8%	-20,5%	-33,7%	-33,7%	-34,6%	-34,8%	-34,9%	-36,0%	-34,0%	-29,8%	-32,9%	-36,1%	-40,9%	-38,7%
3. Landwirtschaft	0,0%	-13,0%	-13,6%	-17,9%	-18,3%	-18,2%	-17,3%	-16,2%	-14,5%	-14,7%	-15,3%	-16,2%	-18,4%	-19,4%	-20,8%	-22,4%
5. Abfall	0,0%	-2,6%	-31,4%	-55,2%	-73,7%	-75,8%	-77,8%	-79,7%	-81,1%	-82,6%	-83,9%	-84,8%	-85,7%	-87,0%	-88,1%	-89,1%
Emissionsentwicklung, gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
1. Energie	0,0%	-0,5%	-0,4%	-2,4%	5,0%	-3,0%	0,9%	2,6%	-5,1%	0,7%	0,1%	-2,6%	-4,1%	-6,6%	-8,6%	4,7%
2. Industrieprozesse	0,0%	-1,6%	4,4%	-4,0%	-3,4%	-0,1%	-1,4%	-0,3%	-0,1%	-1,6%	3,0%	6,4%	-4,4%	-4,8%	-7,4%	3,7%
3. Landwirtschaft	0,0%	0,0%	-1,0%	-0,3%	-0,7%	0,1%	1,1%	1,3%	2,1%	-0,2%	-0,7%	-1,1%	-2,6%	-1,2%	-1,7%	-2,1%
5. Abfall	0,0%	-3,3%	-6,4%	-8,3%	-10,3%	-8,0%	-8,2%	-8,6%	-7,2%	-7,8%	-7,2%	-5,6%	-6,1%	-8,8%	-8,8%	-8,3%

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 16 und in Tabelle 11 jeweils als Zeitreihen seit 1990 dargestellt. Im Zeitraum 1990 bis 2021 wurden deutliche Minderungen der Emissionen dieser Schadstoffe erreicht: So gingen die Emissionen von SO_2 um 95,3 %, die von CO um. 80,6 %, die von den NMVOC um 73,6 % und die von NO_X um ca. 66,1 % 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.

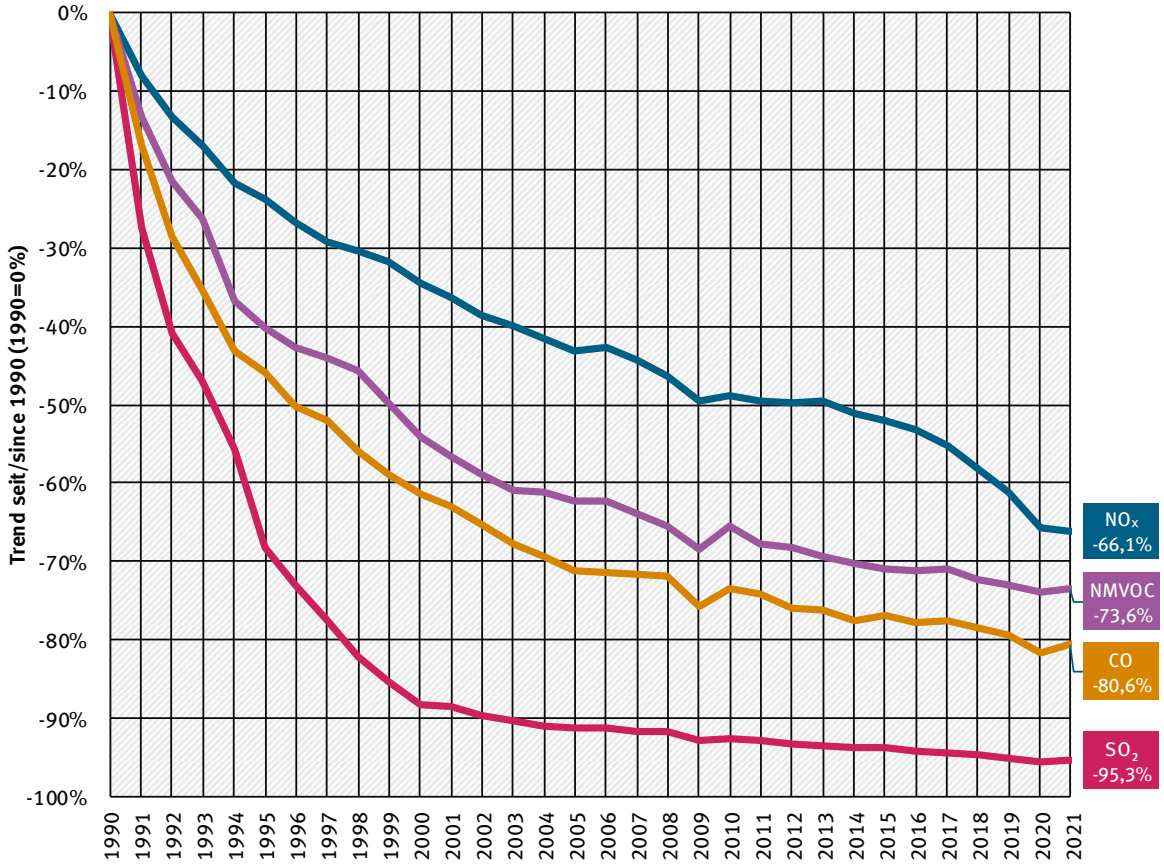
Die im Folgenden aufgeführten Ursachen für diese Entwicklung sind dabei für alle hier betrachteten Komponenten in unterschiedlichem Ausmaß und mit unterschiedlicher Gewichtung relevant:

- 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[24] eingesehen werden.

Abbildung 16: Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und von SO_2

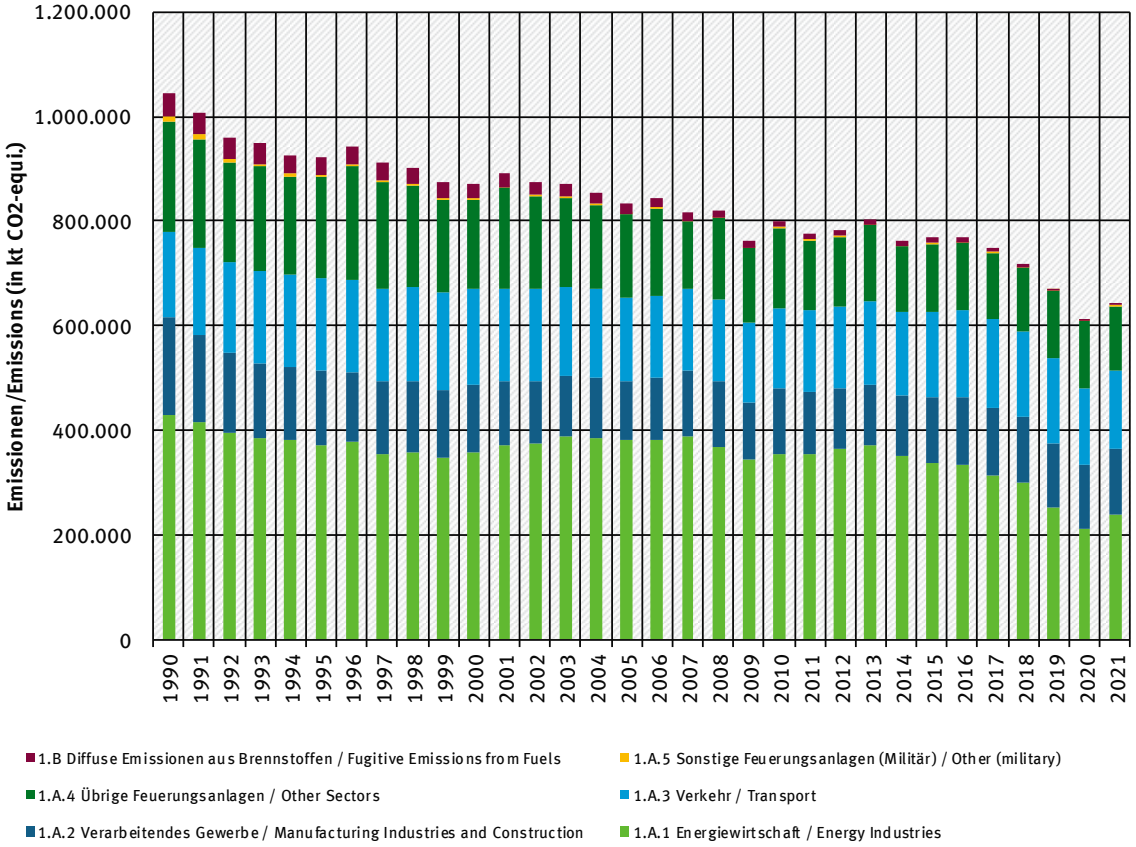


[24] https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen sowie direkt im Informative Inventory Report (IIR): http://iir.umweltbundesamt.de

3 Energie (CRF Sektor 1)

3.1 Übersicht (CRF Sektor 1)

Abbildung 17: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 1'



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 15.7) 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 15.1 bis 15.4 ausführlich beschrieben.

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“ überprüft (Zander & Merten, 2006), ggf. vervollständigt bzw. korrigiert und dokumentiert.“ Zur näheren Beschreibung des Vorgehens bei der Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen verweisen wir auf den NIR 2010.

Mit Hilfe zusätzlicher Statistiken sowie verschiedener Annahmen werden die Daten der Energiebilanz 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.

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

A: Umwandlungseinsatz (umfasst die Energiebilanzzeilen 9 bis 19), daraus

1. **Wärmekraftwerke der allg. Versorgung** (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 (nur für Strom)** (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): u.a. Anlagen 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 die statistische Erfassung dieser Anlagen keine Abschneidegrenze gibt, fallen darunter auch Kleinstanlagen aus den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.
4. **Heizkraftwerke der allg. Versorgung** (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.

B: Energieverbrauch im Umwandlungsbereich (Energiebilanzzeile 33 bis 40)

6. In den Zeilen 33 bis 39 bzw. in der Summenzeile 40 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 im Umwandlungsbereich betrifft die Bilanzierung der Braunkohlengruben und -brikettfabriken. Der Eigenverbrauch von Braunkohlengruben und -brikettfabriken wird gemeinsam mit dem Umwandlungseinsatz der Brikettfabriken zur Produktherstellung in der Zeile 10 verbucht. Damit ist der emissionsverursachende Einsatz des Eigenverbrauchs aus der Energiebilanz nicht ablesbar und muss aus dem Umwandlungseinsatz herausgerechnet werden.
Der Gesamtbrennstoffeinsatz setzt sich zusammen aus den Brennstoffeinsätzen zur Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung und den Brennstoffeinsätzen zur Stromerzeugung der Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus, des Braunkohlenbergbaus und der Raffineriekraftwerke. 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** (Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe bzw. Zeile 60 der Energiebilanz) ist der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung dargestellt, der für die Produktion und zur Raumheizung erforderlich ist. Nach der Art der Wärmeerzeugung wird nicht unterschieden. Ein Teil des Endenergieverbrauchs in diesen Kategorien bildet zusammen mit dem Brennstoffeinsatz der Industriekraftwerke zur Stromerzeugung den gesamten Brennstoffeinsatz in den Anlagen der Industrie.
8. Die Angaben zum **Endenergieverbrauch der Haushalte** (Energiebilanzzeile 66) beinhalten die Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung, das sind die Anwendungsbereiche Heizung, Warmwasserbereitung und Kochen.
9. Die Angaben zum **Endenergieverbrauch von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen** (Energiebilanzzeile 67) 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 18 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 in der Datenbank Energiedaten (Enerdat) 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 18: Merkmale der UBA-Struktur der Bilanz der Emissionsursachen zur Disaggregierung der Energiebilanz

Das BEU-Modell stellt eine Datenstruktur bereit, die für unterschiedliche Berichtspflichten verwendet werden kann. Insbesondere die Ermittlung der Emissionen klassischer Luftschadstoffe, aber auch die Berechnung von Lachgas und Methanemissionen macht diese Disaggregierung in konsistenten Zeitreihen notwendig.

Für die beschriebene Untergliederung werden auch die Brennstoffe gemäß Energiebilanz in der Datenbank einzeln ausgewiesen. 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 den 5 Kategorien Gase, Flüssige Brennstoffe, feste Brennstoffe, Biomasse und sonstige Brennstoffe, zugeordnet. 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. Entsprechend der Maßgabe, konservativ zu rechnen, 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 der 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 von 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. Die Angaben zum biogenen Anteil des Industriemülls in den genannten Branchen stammt aus dem Forschungsprojekt „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ ((Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al., 2006), 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 den folgenden Abbildungen und Tabellen sowie in Kapitel 17 im Anhang 4 dieses Berichtes zusammengestellt und werden in Abbildung 19 und Abbildung 20 mit weiteren verfügbaren Datensätzen verglichen.

3.2.1.2 Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren Datensätzen

Die Ergebnisse der detaillierten sektoralen energiebedingten CO_2-Emissionen sind, entsprechend den Vorgaben der IPCC Guidelines, mit anderen für das berichtende Land verfügbaren Datensätzen zu vergleichen.

Im Rahmen dieser Verifizierung erfolgt hier eine Gegenüberstellung mit dem Datensatz *CO_2 emissions from fuel combustion: World CO_2 Emissions from Fuel Combustion (detailed estimates)* der International Energy Agency (IEA).

In Tabelle 13 und Abbildung 19 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 20 die relativen Abweichungen zwischen den verschiedenen Datensätzen dargestellt.

Tabelle 13: Vergleich der CO_2-Inventare mit Angaben der IEA, Absolutwerte in Mio. t

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	[Mio.t] / *[%]*											
UBA (1.AA)	**988,1**	**879,0**	**835,8**	**807,9**	**780,1**	**749,2**	**751,1**	**731,7**	**702,8**	**657,8**	**600,8**	**629,6**
IEA	**940,0**	**856,6**	**812,3**	**786,9**	**758,8**	**729,7**	**734,5**	**718,8**	**694,5**	**645,4**	**590,0**	**622,0**
Abweichung	48,1	22,4	23,5	21,0	21,3	19,5	16,7	12,9	8,24	12,4	10,8	7,65
	5,11%	*2,61%*	*2,90%*	*2,67%*	*2,80%*	*2,67%*	*2,27%*	*1,79%*	*1,19%*	*1,92%*	*1,83%*	*1,23%*
UBA (1.AB)	**986,7**	**861,5**	**820,4**	**802,2**	**757,0**	**731,5**	**742,9**	**728,7**	**710,4**	**661,4**	**600,8**	**632,9**
Abweichung	**1,39**	**17,42**	**15,46**	**5,71**	**23,08**	**17,67**	**8,28**	**3,00**	**-7,61**	**-3,59**	**-0,03**	**-3,24**
	0,14%	2,02%	1,88%	0,71%	3,05%	2,42%	1,11%	0,41%	-1,07%	-0,54%	-0,01%	-0,51%

Quelle: UBA(1.AA) & UBA (1.AB): eigene Berechnungen; IEA: CO2 emissions from fuel combustion: World CO_2 Emissions from Fuel Combustion (detailed estimates), IEA, Paris, 2022[25]

Die für den Vergleich verwendeten Daten werden durch die IEA erstellt und veröffentlicht. Da Datenermittlung, Aufbereitung und Bereitstellung der IEA-Fragebögen in Deutschland durch verschiedene Institutionen erfolgt und die IEA eigene Berechnungen für die Erstellung der IEA-Energiebilanzen anstellt, stimmen diese Ergebnisse nicht exakt mit den nationalen Energiebilanzen überein.

[25] https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy#co2-emissions-from-fuel-combustion-detailed-estimates

Mit einer durchschnittlichen Abweichug von lediglich 2,85% bestätigt der Abgleich mit den IEA-Daten trotz dieser methodischen Einschränkungen die für Deutschland ermittelten CO_2-Emissionen.

Die nationalen Vergleichsemissionen liegen dabei in allen Jahren über den durch die IEA veröffentlichten Ergebnissen. (Minimum: +1,19 % (2018); Maximum: +5,11 % (1990)).

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

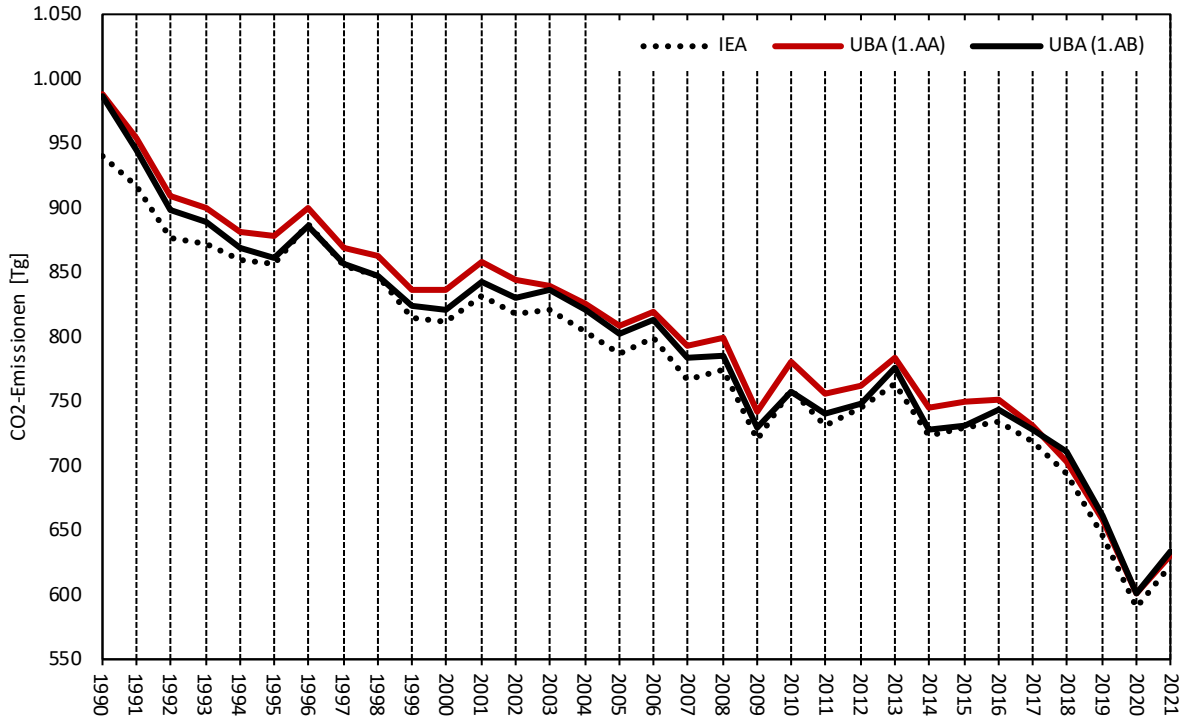
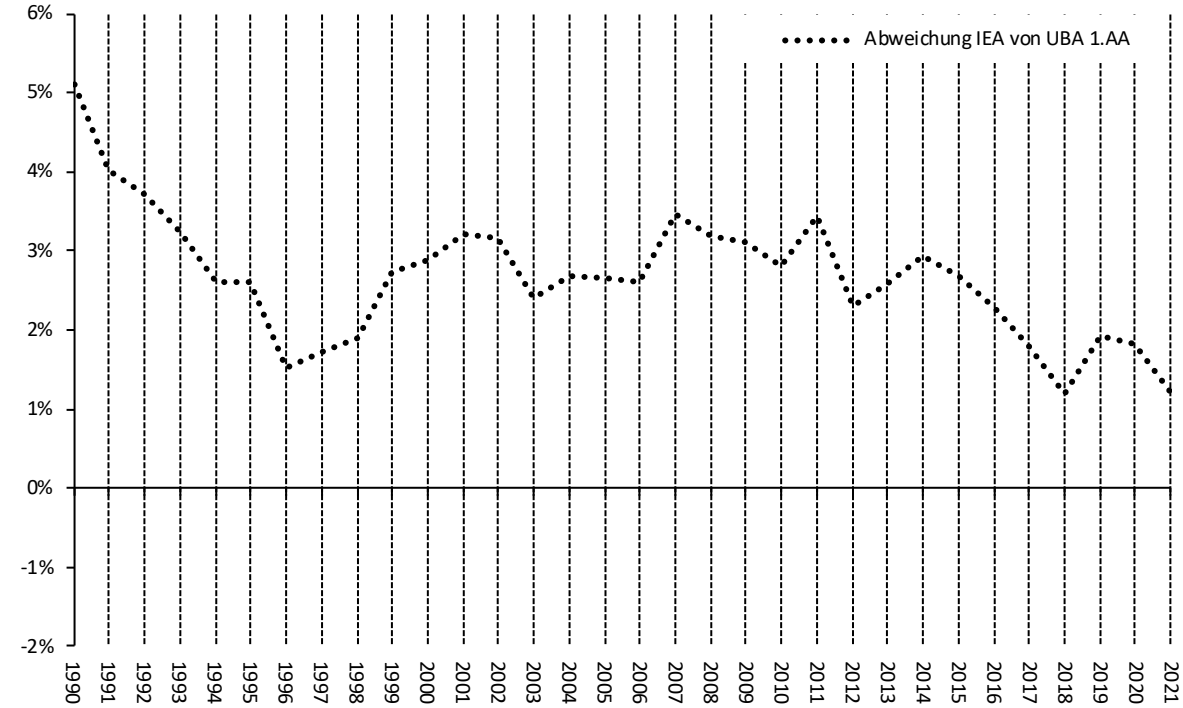


Abbildung 20: CO_2-Emissionen in Deutschland – relative Abweichung gegenüber IEA-Daten



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 zivilen Flugverkehr (1.D.1.a)

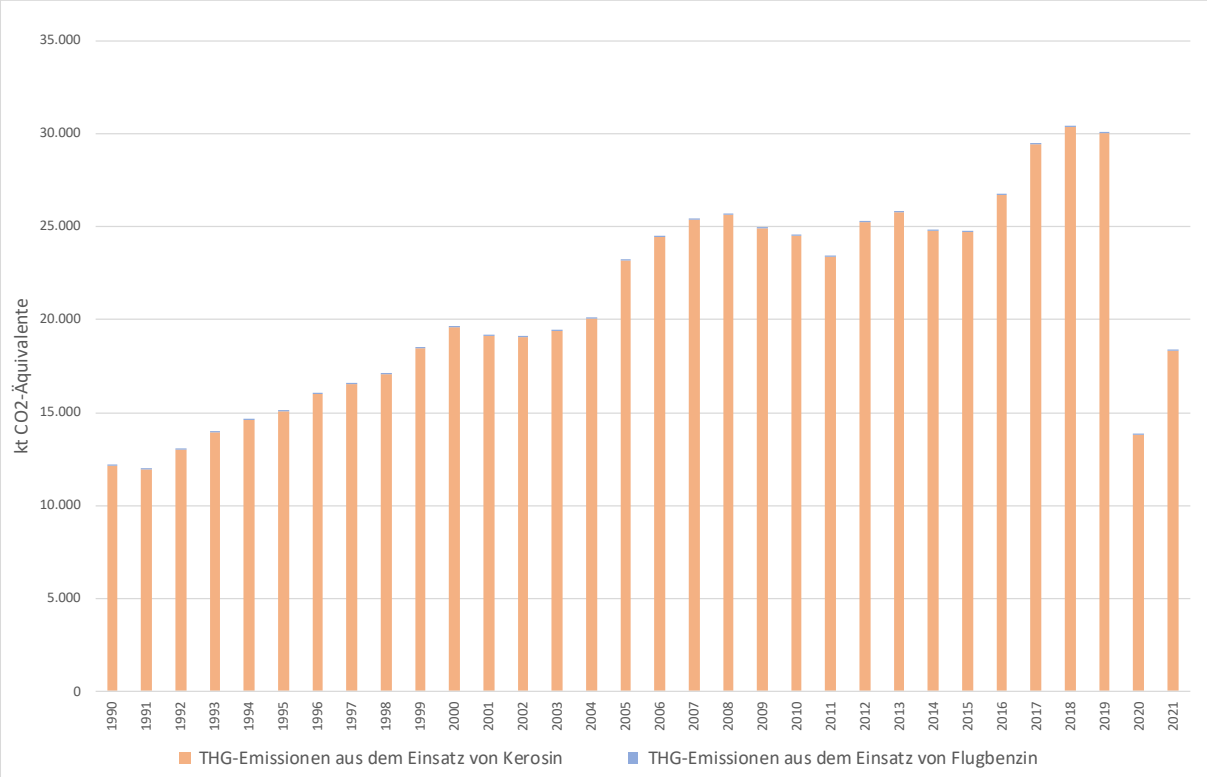
3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.a)

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 21: 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, Allekotte, et al., 2021) 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, 2022c) ausgewiesenen Treibstoffmengen stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 14: jährliche Anteile der Auslandsflüge an den Kerosin- und Flugbenzin-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Kerosin	85,0	87,3	89,2	91,3	91,7	92,4	92,9	93,7	93,8	93,5	93,5	96,2
Flugbenzin	21,0	19,1	20,3	22,0	22,6	18,4	9,42	9,60	8,87	7,87	6,26	8,19

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

Weitere Angaben zu den verwendeten Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren finden sich in Kapitel 3.2.8.1 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 16.1.4).

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

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.8.1.3.

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

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.8.1.4.

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

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Gegenüber Submission 2022 erfolgten Rückrechnungen für sämtliche betrachteten Jahre insbesondere aufgrund geänderter Anteile des für Auslandsflüge eingesetzten Flugbenzins am inländischen Gesamtabsatz.

Tabelle 15: revidierte prozentuale Anteile an den Treibstoff-Inlandsablieferungen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flugturbinentreibstoff / Kerosin											
Submission 2023	85,0	87,3	89,2	91,3	91,7	92,4	92,9	93,7	93,8	93,5	93,5
Submission 2022	83,9	87,9	88,2	90,3	91,4	92,7	92,8	93,2	93,3	93,1	93,0
Änderung absolut	1,06	-0,60	1,05	0,97	0,31	-0,24	0,08	0,54	0,56	0,39	0,47
Änderung relativ	1,26%	-0,68%	1,19%	1,08%	0,34%	-0,26%	0,09%	0,57%	0,61%	0,42%	0,50%
Flugbenzin											
Submission 2023	21,0	19,1	20,3	22,0	22,6	18,4	9,42	9,60	8,87	7,87	6,26
Submission 2022	21,0	19,1	20,3	22,0	22,7	18,5	9,44	9,61	8,88	7,88	6,28
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,04	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,09%	-0,22%	-0,18%	-0,19%	-0,12%	-0,11%	-0,29%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Die resultierende Änderung des Treibstoffeinsatzes stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 16: revidierte Treibstoffmengen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flugturbinentreibstoff / Kerosin											
Submission 2023	164.304	203.795	265.259	313.919	331.794	334.227	361.443	398.413	410.244	406.043	186.883
Submission 2022	162.259	205.197	262.146	310.569	330.659	335.097	361.113	396.137	407.774	404.342	185.951
Änderung absolut	2.045	-1.402	3.113	3.350	1.135	-870	330	2.276	2.470	1.701	932
Änderung relativ	1,26%	-0,68%	1,19%	1,08%	0,34%	-0,26%	0,09%	0,57%	0,61%	0,42%	0,50%
Flugbenzin											
Submission 2023	511	218	228	154	129	102	38,4	38,7	34,5	25,1	13,0
Submission 2022	511	218	228	154	129	102	38,4	38,7	34,6	25,1	13,0
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,11	-0,23	-0,07	-0,08	-0,04	-0,03	-0,04
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,09%	-0,22%	-0,18%	-0,19%	-0,12%	-0,11%	-0,29%
GESAMT-TREIBSTOFFEINSATZ											
Submission 2023	164.815	204.013	265.487	314.073	331.923	334.329	361.482	398.452	410.279	406.068	186.896
Submission 2022	162.770	205.415	262.373	310.723	330.788	335.200	361.152	396.176	407.809	404.367	185.964
Änderung absolut	2.045	-1.402	3.113	3.350	1.135	-871	330	2.276	2.470	1.701	932
Änderung relativ	1,26%	-0,68%	1,19%	1,08%	0,34%	-0,26%	0,09%	0,57%	0,61%	0,42%	0,50%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Zudem wurde, ausgehend von Ergebnissen einer breit angelegten Messkampangne, der bisher verwendete default-Emissionsfaktor für CO_2 aus dem Einsatz von Flugbenzin in Höhe von 70.000 kg/TJ durch einen landesspezifischen Wert in Höhe von 71.199 kg/TJ ersetzt (Juhrich, 2022)

Hinzu kommt eine Revision der Aufteilung von Kerosin auf die Flugphasen L/TO und Reiseflug mit ihren sehr unterschiedlichen Methan-Emissionsfaktoren.

Die Gesamtheit der Anpassungen führte zu wie folgt veränderten Treibhausgas-Emissionen:

Tabelle 17: revidierte THG-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid - CO_2 [a]											
Subm. 2023	12.073	14.945	19.448	23.007	24.315	24.491	26.481	29.189	30.055	29.747	13.691
Subm. 2022	11.922	15.047	19.220	22.762	24.232	24.555	26.456	29.022	29.874	29.622	13.623
Änd. abs.	150	-102	228	246	83,3	-63,6	24,2	167	181	125	68,3
Änd. rel.	1,26%	-0,68%	1,19%	1,08%	0,34%	-0,26%	0,09%	0,57%	0,61%	0,42%	0,50%
Methan - CH_4											
Subm. 2023	0,19	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15	0,07
Subm. 2022	0,20	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,17	0,18	0,16	0,07
Änd. abs.	-0,01	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
Änd. rel.	-6,52%	4,94%	-8,81%	-10,0%	-3,64%	3,28%	-1,16%	-7,82%	-8,36%	-5,62%	-6,62%
Lachgas - N_2O											
Subm. 2023	0,383	0,471	0,613	0,729	0,770	0,775	0,838	0,924	0,951	0,941	0,433
Subm. 2022	0,378	0,474	0,605	0,720	0,767	0,777	0,837	0,918	0,945	0,937	0,431
Änd. abs.	0,005	-0,003	0,008	0,008	0,003	-0,002	0,001	0,006	0,006	0,004	0,002
Änd. rel.	1,32%	-0,73%	1,27%	1,17%	0,37%	-0,29%	0,10%	0,64%	0,68%	0,47%	0,56%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]											
Subm. 2023	12.191	15.089	19.634	23.228	24.548	24.726	26.734	29.468	30.343	30.031	13.822
Subm. 2022	12.040	15.192	19.403	22.980	24.464	24.790	26.710	29.300	30.160	29.906	13.753
Änd. abs.	152	-103	230	248	84,0	-64,2	24,4	168	183	126	68,9
Änd. rel.	1,26%	-0,68%	1,19%	1,08%	0,34%	-0,26%	0,09%	0,57%	0,61%	0,42%	0,50%

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 3.2.8.1.6.

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)

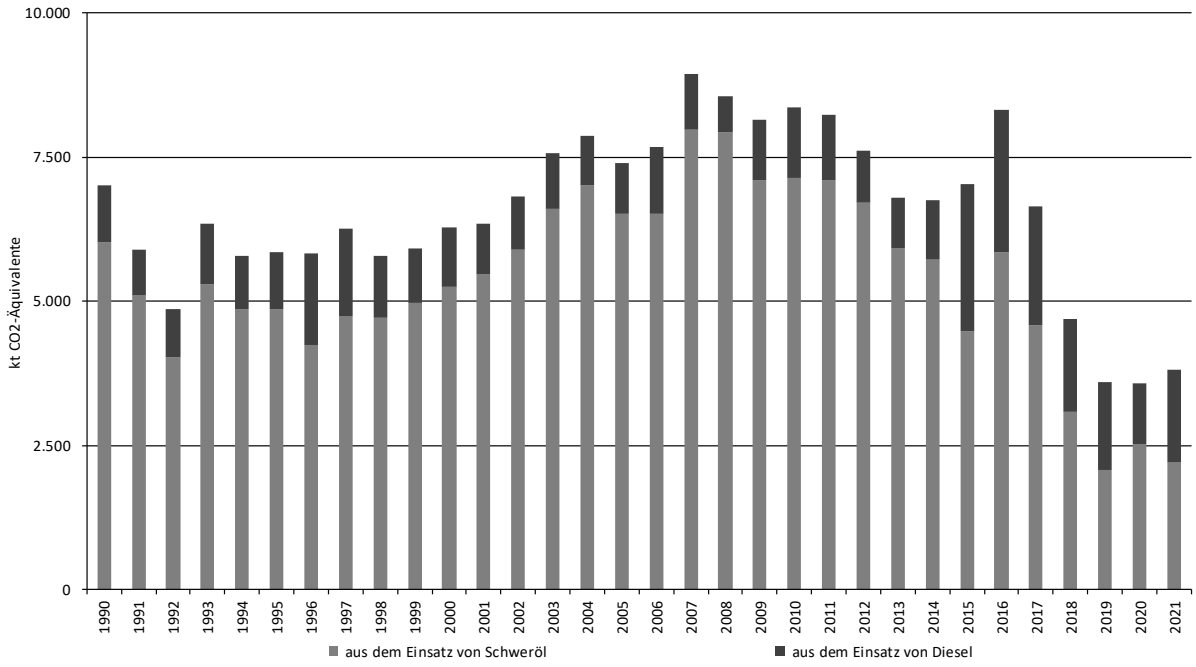
Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	D [a] / CS
CH_4	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
N_2O	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)

[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.

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 22: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des internationalen Seeverkehrs seit 1990



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 Kraftstoffmengen 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 (2022c): 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 (2022) 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.[26]

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 16.1.3).

Bezüglich der **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird auf Kapitel 15.7 verwiesen.

Für die Berechnung der Methan- und Lachgas-Emissionen wird auf die für den nationalen Seeverkehr verwendeten Emissionsfaktoren aus Deichnik (2022) 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 3.2.8.4.3.

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

Siehe Kapitel 3.2.8.4.4.

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

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Gegenüber Submission 2022 erfolgen Rückrechnungen einzig aufgrund revidierter Emissionsfaktoren für Kohlendioxid aus dem Einsatz von Schweröl (siehe 3.2.8.4.5).

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

Tabelle 18: revidierte Emissionsfaktoren für CO_2 aus Schweröl, in [kg/TJ]

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	77.241	77.241	77.241	77.241	77.241	76.445	77.188	77.188	77.188	77.188	77.188
Submission 2022	79.751	79.751	79.751	79.567	79.704	80.877	81.626	80.834	79.892	79.400	79.671
Änderung absolut	-2.510	-2.510	-2.510	-2.326	-2.463	-4.431	-4.438	-3.646	-2.704	-2.212	-2.483
Änderung relativ	-3,15%	-3,15%	-3,15%	-2,92%	-3,09%	-5,48%	-5,44%	-4,51%	-3,38%	-2,79%	-3,12%

Quelle: Deichnik (2022)

Aus dieser Revision resultieren wie folgt neu berechnete Emissionsmengen:

Tabelle 19: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid [a]											
Submission 2023	6.917	5.764	6.196	7.303	8.257	6.932	8.205	6.564	4.624	3.548	3.518
Submission 2022	7.111	5.919	6.365	7.497	8.482	7.188	8.537	6.778	4.730	3.607	3.598
Änderung absolut	-193	-156	-168	-194	-225	-256	-332	-214	-106	-58,8	-79,7
Änderung relativ	-2,72%	-2,63%	-2,65%	-2,58%	-2,65%	-3,56%	-3,89%	-3,16%	-2,25%	-1,63%	-2,22%
GESAMT-**TREIBHAUSGASE** [a]											
Submission 2023	7.011	5.842	6.280	7.403	8.370	7.028	8.317	6.655	4.687	3.597	3.567
Submission 2022	7.205	5.998	6.449	7.596	8.594	7.284	8.649	6.869	4.794	3.656	3.647
Änderung absolut	-193	-156	-168	-194	-225	-256	-332	-214	-106	-58,8	-79,7
Änderung relativ	-2,68%	-2,60%	-2,61%	-2,55%	-2,61%	-3,52%	-3,84%	-3,12%	-2,22%	-1,61%	-2,19%

[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 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 Teil dieser Brennstoffe wird jedoch auch nicht-energetisch, als Rohstoff (Feedstock) für Herstellungsprozesse verwendet. In der deutschen Energiebilanz (EB) wird dieser nicht-energetische Verbrauch in Zeile 43 (EBZ 43) gesondert ausgewiesen.

Dominierender Verbraucher ist hier die chemische Industrie: So werden fossile Energieträger in Crackern, Reforming-Verfahren, der Synthesegasherstellung und der Herstellung von Graphitelektroden eingesetzt. Die wichtigsten Folgeprodukte aus Cracken und Reformieren sind Ethylen, Propylen, 1,3-Butadien, Benzol, Toluol und Xylole, aus der Erzeugung von Synthesegas Ammoniak und Methanol.

In Raffinerien werden Bitumen, Schmierstoffe und Paraffinwachse gewonnen: Ersterer wird u.a. für Straßenbeläge oder Bitumendachbahnen verwendet, Schmierstoffe u.a. im Straßenverkehr und in Maschinen eingesetzt.

Ein Vergleich zwischen den in EBZ 43 aufgelisteten Verbräuchen und den im Inventar unter *CRF 2 - Industrieprozesse* berichteten Emissionen von CO_2 und NMVOC aus nicht-energetischer Verwendung ist ohne Anpassung nicht möglich. U.a. werden bei den Industrieprozessen nur Emissionen bei der Herstellung oder Nutzung der Produkte betrachtet, während in EBZ 43 der gesamte Feedstock erfasst wird, der sich aus prozessspezifischen Emissionen und den Kohlenstoffmengen, die in den Produkten gespeichert werden, zusammensetzt. 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, wurde in Tabelle 21 (s.u.) der in den Produkten gespeicherte Kohlenstoff 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 erfolgt für die petrochemischen Produkte anhand des spezifischen Kohlenstoffgehaltes gemäß Tabelle 3.10 aus Volume 3 der 2006 IPCC-GL (IPCC, 2006a) und der molaren Masse von CO_2. Anschließend werden die CO_2-Äquivalent-Emissionen auf die drei in Deutschland eingesetzten Feedstocks Naphta, Flüssiggas und andere Mineralölprodukte nach internen Verbandsangaben aufgesplittet.

Für Industrieruß wird vereinfacht angenommen, dass dieser aus reinem Kohlenstoff besteht, der ebenfalls in CO_2-Äquivalente umgerechnet wird.

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 (2006a)) in CO_2-Äquivalente umgerechnet.

Tabelle 20: 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 emittierten und in Produkten gespeicherten Kohlenstoffs entspricht für das Jahr 2021 107 % des Kohlenstoffs aus dem nicht-energetischen Verbrauch gemäß EBZ 43. Somit lassen sich die in der Energiebilanz 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 21: Verifikation der Vollständigkeit des berichteten CO_2 aus der nichtenergetischen Verwendung von fossilen Energieträgern, für 2021

			KOHLEN				MINERALÖLE					GASE	
			Steinkohle + Steinkohlen-koks	Braunkohlen	andere Braun-kohle-	Summe Festbrenn-stoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralöl-produkte	Summe Flüssig-brennstoffe	Erdgas	Summe Gas
A: Ausgewiesene NEU-Menge (Energiebilanzzeile 43)		TJ	3.112,5	256,0	13.239,1	**16.607,6**	355.278,8	6.319,1	92.092,0	383.023,9	**836.713,8**	129.621,4	**129.621,4**
B: Kohlenstoffgehalt		kg C/GJ	26,8	30,2	26,9		20,0	27,8	18,1	19,0		15,2	
C: Summe des Einsatzes als Feedstock/Nicht-energetische Verwendung		kt C	83,4	7,7	356,6	**447,8**	7.102,3	175,4	1.666,0	7.276,9	**16.220,7**	1.973,1	**1.973,1**
D: Summe des Einsatzes als Feedstock/Nicht-energetische Verwendung		**kt CO_2**	**305,9**	**28,4**	**1.307,5**	**1.641,8**	**26.041,9**	**643,3**	**6.108,8**	**26.682,1**	**59.476,1**	**7.234,8**	**7.234,8**
E: Impliziter oxidierter Kohlenstoffanteil		**%**	**147%**				**112%**	**109%**	**123%**	**105%**	**110%**	**98%**	**98%**
	AR in [kt]	**EM in [kt CO_2]**	**AR + EM [C in Gg CO_2]**										
F: Summe berichtetes fossiles IPPU CO_2		**7.003**	**449**				**29.270**	**702**	**7.527**	**28.037**	**65.536**	**7.115**	**7.115**
2 Industrieprozesse		**7.003**	**449**				**29.270**	**702**	**7.527**	**6.724**	**44.223**	**7.115**	**7.115**
2.B: Chemische Industrie		**5.859**					**29.270**	**6**	**7.527**	**6.724**	**43.527**	**7.115**	**7.115**
2.B.1: Ammoniak Produktion	2.892	5.246										5.246	**5.246**
2.B.5: Karbid Produktion	C	6						6			**6**		
2.B.6: Titandioxid Produktion		NE											
2.B.8: Petrochemie (1)													
Methanol	*1.359*											*1.869*	**1.869**
Ethylene	*5.196*						*11.416*		*2.935*	*1.957*	**16.308**		
Propylen	*3.553*						*7.809*		*2.008*	*1.339*	**11.155**		
Butene und 1,3-Butadien	*2.186*						*4.982*		*1.281*	*854*	**7.117**		
Benzol	*1.578*						*3.736*		*961*	*641*	**5.338**		
Toluol	*567*						*1.328*		*341*	*228*	**1.897**		
Xylol													
Industrieruß	*309*	*607*								*1.706*	**1.706**		
2.C: Metall Industrie		1.145						**696**			**696**		
2.C.1: Eisen- und Stahlproduktion (2)		IE	**469**										
2.C.2: Produktion von Ferrolegierungen	54	6											
2.C.3: Primäraluminiumproduktion	509	696	6					696			**696**		
2.C.5: Bleiproduktion (2)	C	IE											
2.C.6: Zinkproduktion (2)	C	IE											
2.D: Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen und Lösemitteln (1)													
Schmierstoffe	*2.522*									***21.313***	**21.313**		
Wachse, Paraffine, Vaseline, etc.	*338*									*7.434*	**7.434**		
Bitumen	*3.972*									*998*	**998**		
Lösemittel und andere Produktverwendungen (3)	IE	IE								*12.881*	**12.881**		

(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.

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

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

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO_2	338.451,2	26,2 %	207.344,8	27,1 %	-38,7 %
L/T	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH_4	192,8	0,0 %	2.579,2	0,3 %	1237,5 %
-/-/2	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N_2O	2.140,9	0,2 %	1.590,8	0,2 %	-25,7 %

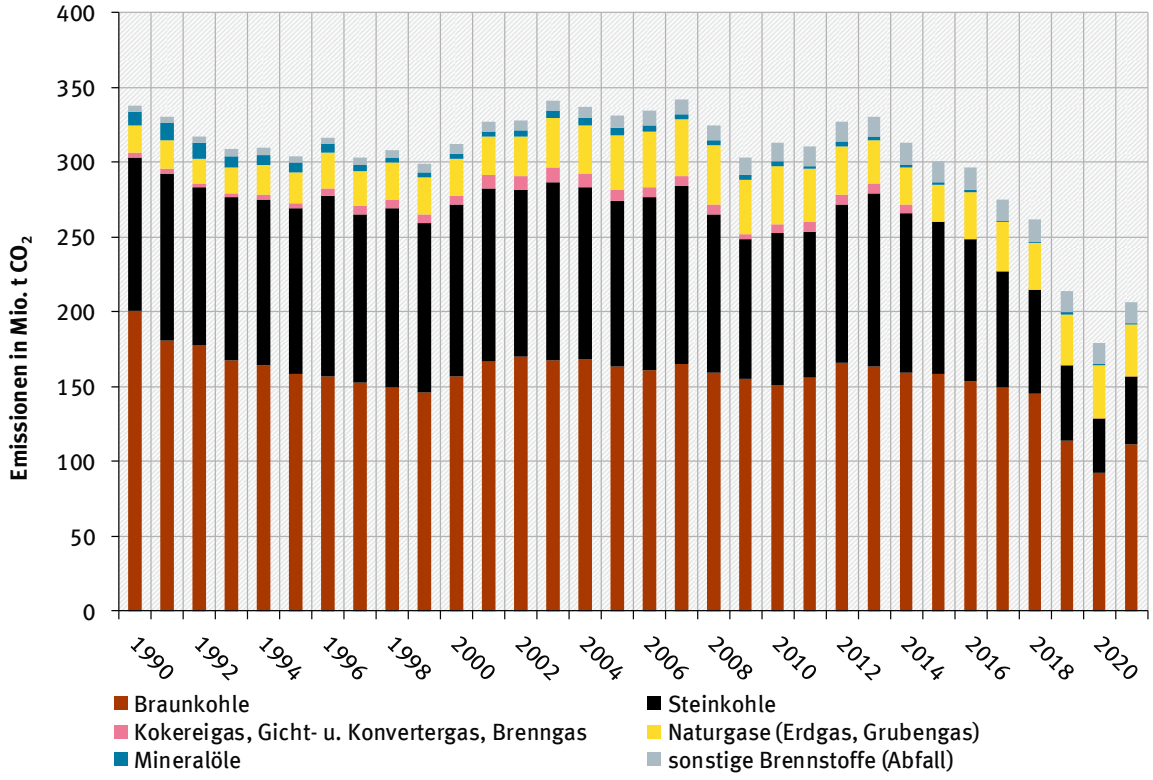
Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS	NS	CS
CH_4	Tier 2	NS	CS
N_2O	Tier 2	NS	CS
NO_x, CO, NMVOC, SO_2	CS	NS	CS

Die Kategorie der *Öffentlichen Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung* ist für CO_2- und CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend sowie nach der Methode-2-Analyse auch für N_2O.

Unter der Kategorie 1.A.1.a „Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“ sind 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.

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

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



Der Emissionstrend wird im Wesentlichen von der Entwicklung und der Struktur der Stromerzeugungsanlagen geprägt, da diese den Hauptteil der Emissionen ausmachen.

Wesentliche allgemeine Treiber für den Trend umfassen die Wirtschaftsentwicklung (wie der Zusammenbruch der Industrie in den neuen Bundesländern in den Neunzigerjahren, die Wirtschafts- und Finanzkrise insbesondere im Jahr 2009 und die Corona-Krise 2020), die (relativen) Brennstoffpreise und die CO2-Zertifikatspreise, regulatorische Rahmenentscheidungen (wie das Kohleverstromungsbeendigungsgesetz 2020 und die Änderung des Atomgesetzes 2011), den Außenhandelssaldo für Strom (etwa der Exportanstieg ab 2012), die Witterungsbedingungen (etwa kalte Winter 2010, 2012, 2013) sowie statistische Artefakte aufgrund der Ummeldung von Kraftwerken in andere Sektoren. Wesentliche energieträgerspezifische Treiber sind:

Braunkohle:

- bis 1999 Schließung vieler braunkohlebefeuerter Anlagen in den neuen Bundesländern
- 2012 gehen die bisher letzten drei neuen Braunkohlen-Kraftwerksblöcke in Betrieb
- danach bis zum aktuellen Berichtsrand weitere Stilllegung von Kraftwerken mit Überführung in vierjährige Sicherheitsbereitschaft (insbesondere 2018 und 2019 mit wesentlicher Wirkung auf die Stromerzeugung 2019 und 2020), um bei Engpässen vorübergehend zur Verfügung zu stehen.

Steinkohle:

- 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.
- Mitte der Neunzigerjahre sowie 2012: Ummeldung von Unternehmen von der Industrie zur öffentlichen Versorgung
- 2016, 2017, 2020: Preisbedingte Verschiebung des Brennstoffmixes von Steinkohle zu Erdgas

Kokereigas, Gicht- u. Konvertergas, Brenngas:

- 2015 Ummeldung der Gichtgaskraftwerke in die Stahlindustrie

Naturgase (Erdgas, Grubengas):

- seit 1990deutlicher Anstieg des Einsatzes von Erdgas zur Stromerzeugung
- ab 2005 Inbetriebnahme einer ganzen Reihe von großen GuD- und mittleren Gasturbinenkraftwerken
- zunehmender Einsatz als Regelenergie für die Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien

Mineralöle:

- 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

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

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.

Eine genauere Trenddiskussion der Jahre 1990 bis 2020 ist im Kapitel Beschreibung der Kategorie (1.A.1.a) im NIR 2022 beschrieben.

3.2.4.2 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. Die Daten werden für die aktuelle Berichterstattung in regelmäßigen Abständen aktualisiert.

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 eines Forschungsprojektes als Teilvorhaben A „Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990“ überarbeitet und dokumentiert (Zander & Merten, 2006).

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.

Vor dem Jahr 2003 enthielten sowohl die Energiestatistik als auch die Energiebilanz deutlich geringere Abfallmengen als die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, 2021a). Die Datenlage der Energiestatistik hat sich seither deutlich verbessert und die Energieeinsatzmengen haben sich relativ stetig angeglichen. Differenzierte Brennstoffangaben machen es möglich, feste Biomasse (vornehmlich Alt- und Restholz), biogene Gase, Klärschlamm und Abwärme herauszurechnen. 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 der 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 Tabelle 25 im NIR 2022 gibt eine Übersicht über die entsprechenden Emissionen aus der Gichtgasnutzung über die Zeitreihe seit 1990.

Emissionsfaktoren

Da CO_2-Emissionen von der Brennstoffqualität abhängen, werden die CO_2-Emissionsfaktoren sektorübergreifend berechnet und genutzt. Eine detaillierte Beschreibung sowie eine Liste mit den verwendeten Faktoren ist im Anhang (Kapitel 15.7) verfügbar.

Datengrundlage für 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 wurden durch lineare Interpolation ermittelt. Das Vorhaben sowie die lineare Interpolation für die Zwischenjahre ist ebenfalls die Grundlage für die Emissionsfaktoren der Kapitel 3.2.5, 3.2.6 und 3.2.7, soweit dort Kraftwerke, Gasturbinen oder Kesselfeuerungen zur Bereitstellung von Dampf, Heiß- und Warmwasser mit enthalten sind. Das Forschungsvorhaben diente der 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. Auf diese Weise wurden systematisch 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 des NIR 2022 dargestellt

Im Jahr 2011 wurden im Zuge eines größeren Forschungsvorhabens (Fichtner et al. (2011)), die Emissionsfaktoren (außer CO_2) 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. Weitere Messungen wurden 2008 vom VGB durchgeführt. Das Vorhaben Fichtner et al. (2011) hat die bisher verwendeten Werte überprüft und aktualisiert. Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse für große Anlagen der öffentlichen Kraftwerke (Feuerungswärmeleistung 50

Megawatt oder mehr), Tabelle 23 die Ergebnisse für kleinere Anlagen der Energiewirtschaft und der Industrie. Auf Grundlage dieser Werte wurden die kategoriespezifischen Emissionsfaktoren für das ZSE berechnet.

Tabelle 22: 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 23: 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
leichtes Heizöl	1,1
schweres Heizöl	3,0
Erdgas	0,6
Gasturbinen und Gas-und Dampfturbinenanlagen:	
Erdgas	1,7
leichtes Heizöl	2,0

Tabelle 24: 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 dem bis dahin verwendeten Wert von 0,3 kg/TJ,

der in etwa dem Wert für Dampfturbinenkraftwerke 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 et al., 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 mitverbrannten 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

Im Rahmen des Forschungsprojekts Kalksteinbilanz ((Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al., 2006), 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 3.2.4.2). 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 die Jahre 2020 und 2021 liegen noch keine Zahlen des Verbands vor. Daher wurde für diese beiden Jahre 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 sowie 2020 und 2021, eine Proportionalität zwischen der Jahresstromerzeugung und dem Gipsaufkommen unterstellt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da sich die Stromerzeugung in den beiden Jahren sehr stark verändert hat.

Tabelle 25: 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**					
CO_2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	618	652	629	662	616	683	867	878	1.005	966
Jahr	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
CRF 1.A.1					**Angaben in kt**					
CO_2 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**					
CO_2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	919	1.028	1.052	1.030	974	989	921	979	936	769
Jahr	**2020**	**2021**								
CRF 1.A.1					**Angaben in kt**					
CO_2 aus REA der öffentlichen Kraftwerke	590	745								

Quelle: Berechnung auf der Grundlage des Projektes Kalksteinbilanz ((Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al., 2006), 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 %.

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

Unsicherheiten für die Aktivitätsraten wurden erstmals für das Berichtsjahr 2004 bestimmt und gelten weiterhin (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 15.4 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 der in Kapitel 3.2.4.2 genannten Vorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) wurde die Unsicherheit der ermittelten Emissionsfaktoren evaluiert.

3.2.4.3.1 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.

3.2.4.3.2 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.

3.2.4.3.3 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 3.2.4.2) 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 wurden letztmalig im Kapitel 19.1.2.2 des NIR 2022 abgedruckt. 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.

3.2.4.3.4 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 seit 1995 angenommen.

Die Zeitreihen für N_2O sind vor diesem Hintergrund insgesamt als konsistent zu bewerten.

Die Zeitreihen der CH_4-Emissionsfaktoren wurden ebenfalls geprüft und als in sich konsistent bewertet. 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.

3.2.4.4 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 vor (siehe Kapitel 15.4.1). Seit dem Jahr 2012 führt die AGEB systematische Vergleiche zwischen der Schätzbilanz des Jahres x-1 (vorläufig) und der Energiebilanz des Jahres x-2 (endgültig) durch, erstmals für das Berichtsjahr 2010 (siehe Kapitel 15.4.1).

Die Qualitätssicherung der amtlichen Statistik erfolgt über ein internes Qualitätssystem, dessen *Qualitätsberichte* in den Internetveröffentlichungen des *Statistischen Bundesamtes* einsehbar sind (Statistisches Bundesamt, 2022e).

Zusätzlich zu diesen Maßnahmen findet im Bedarfsfall 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 das 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 16.1.1.1 angegeben. Ihre Ergebnisse wurden im NIR 2005 berichtet.

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

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Tabelle 26: Rückrechnungen CRF 1.A.1.a

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut					Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2020	-203,6	-38,9	-912,4	-86,3	-1.241,2	-0,7%

Im Jahr 2020 kommt es wie gewohnt zu Rückrechnungen bei allen Energieträgern, nachdem die vorläufigen Daten durch die endgültige Energiebilanz ersetzt wurden.

Der Rückgang der CO_2-Emissionen ist auf einen deutlichen Rückgang des energetischen Inputs von Müllverbrennungsanlagen anhand der Abfallstatistik von 2019 zu 2020 des Statistischen Bundesamts zurückzuführen. Die Werte der Abfallstatistik fließen neben der Energiebilanz in das Abfallberechnungsmodell ein. Da die Statistik nur alle 2 Jahre vorliegt, werden die Nicht-Energiebilanzteile für das Randjahr fortgeschrieben und im Folgejahr korrigiert.

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

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.5 Mineralölraffinerien (1.A.1.b)

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

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 1 b, Petroleum Refining**	**fossil fuels**	**CO2**	**24.102,6**	**1,9 %**	**19.983,9**	**2,6 %**	**-17,1 %**
-/-	1 A 1 b, Petroleum Refining		CH4	18,0	0,0 %	14,6	0,0 %	-18,8 %
-/-	1 A 1 b, Petroleum Refining		N2O	89,3	0,0 %	48,0	0,0 %	-46,2 %

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

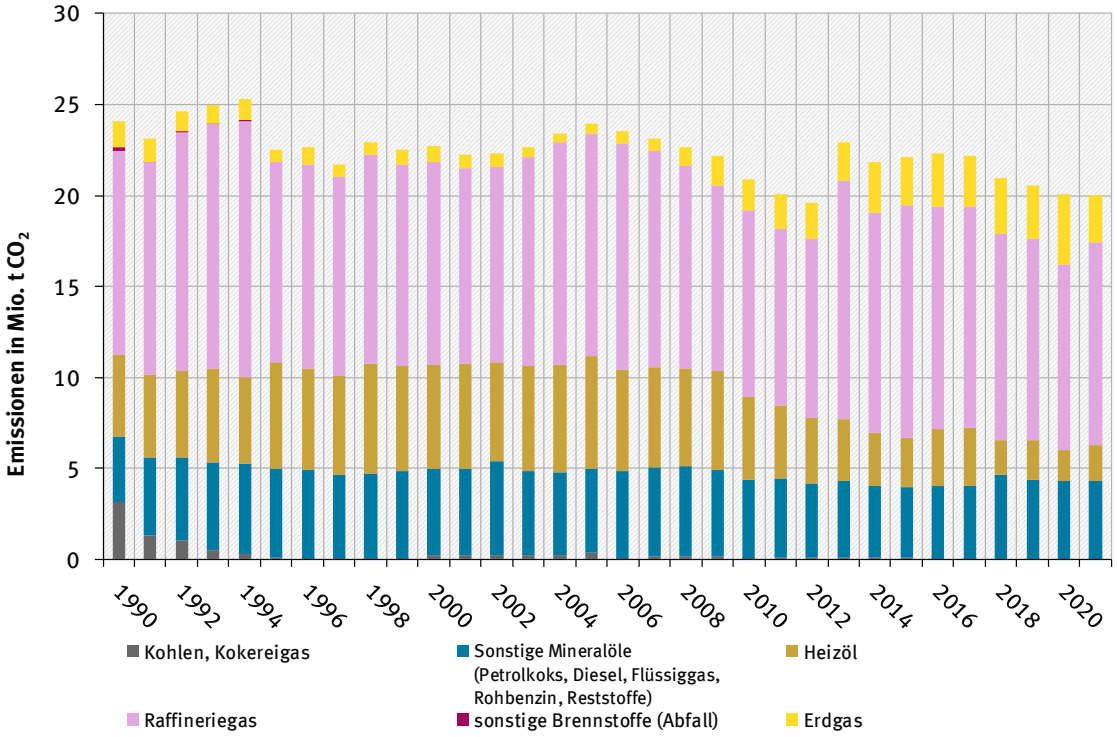
Die Kategorie der *Mineralölraffinerien* ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

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

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 24: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.b



Generelle Treiber der Emissionsentwicklung umfassen die gesamte Produktionsmenge (z.B. 2005 mit 123,6 Mio.t hergestellter Mineralölprodukte bisheriges Produktionsmaximum), die Verteilung der Produktionsmenge auf verschiedene Bereiche (vermehrte Produktion leichterer Mineralölprodukte sowie verstärkte Tiefenentschwefelung tragen zu einer Erhöhung spezifischer Brennstoffverbräuche bei) sowie die Anlageneffizienz. Dabei wurde die gesamte Produktionsmenge zeitweise trotz Anlagenschließungen erhöht.

3.2.5.2 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 die Importe, den Umwandlungseinsatz in den Raffinerien, sowie die Produktion und den 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. In der Kategorie 1.A.1.b wird daher nur die Rohölverarbeitung berichtet.

Für die Berichterstattung der Emissionen aus Rohölraffinerien werden die Anlagen in Raffinerie-kraftwerke und Raffinierie-Unterfeuerungen unterteilt. Die Aktivitätsraten zur Raffinerie-Unterfeuerung bestimmen sich als Differenzbetrag aus dem Abzug des Brennstoffeinsatzes in Raffineriekraftwerken von den Daten der Energiestatistik sowie 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 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 konnten 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 realitätsnächste 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 15.7 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 3.2.4.2 verfügbar. 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.

3.2.5.3 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.

3.2.5.3.1 Ergebnis für N_2O

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3.2 gelten entsprechend.

3.2.5.3.2 Ergebnis für CH_4

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3 gelten entsprechend.

3.2.5.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3.4 gelten entsprechend.

3.2.5.4 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 3.2.4.4).

Bezüglich der Emissionsfaktoren gelten die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3 entsprechend.

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

Tabelle 27: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b nach Brennstoffen

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut					Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2018	-2.041,5	1.730,7	0,0	0,0	-310,8	-1,5%
2019	-2.502,9	1.211,8	0,0	0,0	-1.291,1	-5,9%
2020	249,4	1.287,4	0,0	12,4	1.549,1	8,3%

Tabelle 28: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b in der Summe

Einheit [kt]	Abweichung in der Summe aller Brennstoffe, CO_2 absolut									
Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	3937,04	4260,34	5086,07	4824,93	5113,89	2749,28	2575,02	2380,96	2624,07	2127,87
Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	1825,74	1158,18	1303,46	1156,64	1524,6	1548,66	2045,16	1490,76	810,28	212,43
Jahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	149,48	41,93	292,12	3759,4	3065,13	3339,64	2506,63	1893,91	-310,81	-1291,13
Jahr	2020									
	1549,11									

Als Ergebnis eines detaillierten Vergleiches zwischen den statistischen Daten und den Emissionshandelsdaten kommt es über die gesamte Zeitreihe zu großen Rückrechnungen. Haupttreiber ist eine Verschiebung zwischen Raffinerien und Industriefeuerungen, damit die Zuordnung vom Inventar mit der des Emissionshandels übereinstimmt. Im Zuge dessen wurden auch Fehlstellen ergänzt. Das führt in der Summe dazu, dass die Emissionen in der Quellgruppe 1.A.1.b ansteigen und in der Quellgruppe 1.A.2.gviii sinken.

Nach dem Vorliegen der finalen Energiebilanz für 2020 wurden die vorläufigen Werte ersetzt. Das führte ebenfalls zu Rückrechnungen bei allen Brennstoffen.

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

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

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

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

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy**	**fossil fuels**	**CO_2**	**65.289,1**	**5,1 %**	**8.645,5**	**1,1 %**	**-86,8 %**
-/-	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH_4	103,0	0,0 %	139,8	0,0 %	35,7 %
-/-	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N_2O	586,2	0,1 %	114,0	0,0 %	-80,6 %

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.

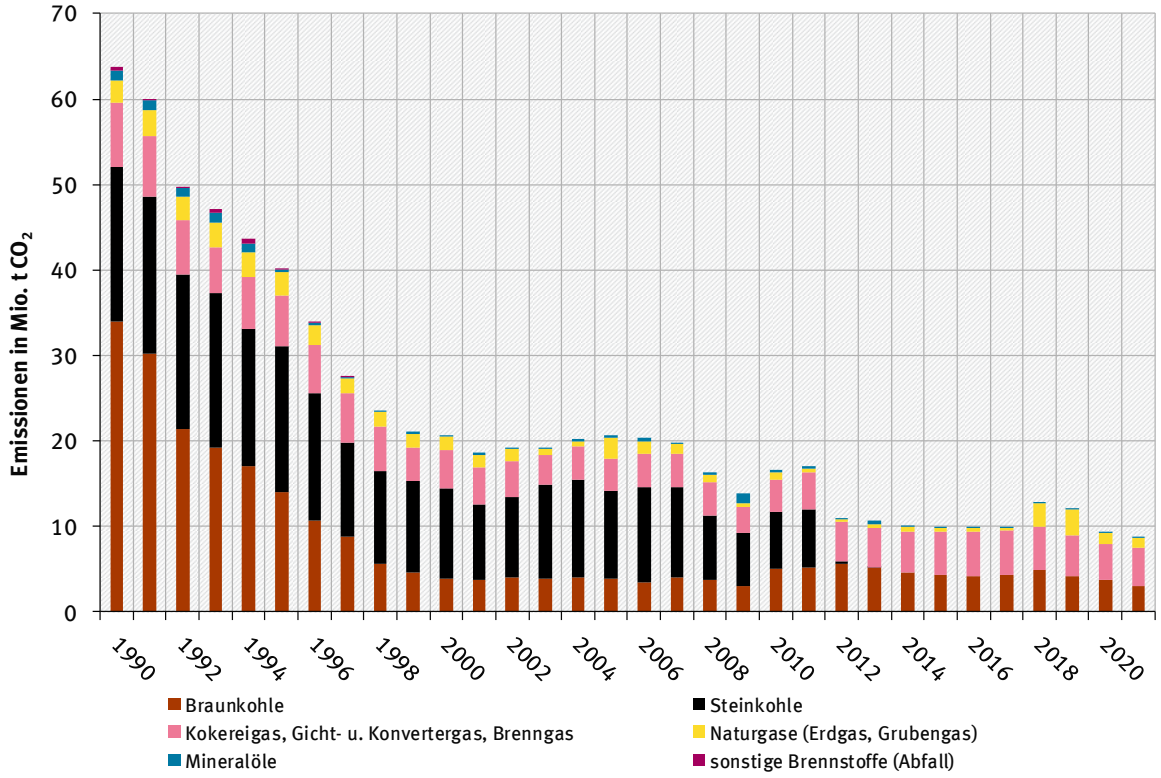
Die obigen Angaben beziehen sich auf die Kraftwerke und die sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.1.c.

Der Kategorie 1.A.1.c werden der Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau sowie die Kokereien und Brikettfabriken zugerechnet, außerdem die Gewinnung von Rohöl und Erdgas. 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 *Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieindustrien* werden im ZSE unterschieden: 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 nach Großfeuerungsanlagen und TA Luftanlagen unterschieden.

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die Emissionsentwicklung der Kategorie 1.A.1.c nach Brennstoffen aggregiert. Die Abbildung zeigt sehr deutlich, wie stark die Emissionen in dieser Kategorie seit 1990 zurückgegangen sind.:

Abbildung 25: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.1.c



Braunkohle

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 und musste bis Ende der 90er Jahre in umfangreichem Ausmaß auf andere Brennstoffe umgestellt werden, wobei wesentliche Braunkohlekapazitäten ersatzlos entfallen sind. In den Haushalten wurden die Kohleöfen durch modernere heizöl- und erdgasbefeuerte Heizungsanlagen ersetzt und somit änderte sich die Nachfrageseite.

Steinkohle

Die Emissionen aus der Steinkohlennutzung im Sektor 1.A.1.c sinken seit dem Jahr 1990 deutlich. Wesentliche Ursache ist die starke Reduktion der Steinkohlenförderung (1990 über 70 Mio. t) bis zu ihrer Einstellung im Jahr 2018. Meldeänderungen von Anlagen des Steinkohlen- und Braunkohlenbergbaus zwischen der öffentlichen Versorgung und dem entsprechenden Industriesektor führen in der Zeitreihe zu statistischen Effekten (siehe 2011/2012), die mittels sektorübergreifender Trendbetrachtung mit dem Sektor 1.A.1.a hinsichtlich tatsächlicher Emissionsveränderungen plausibilisiert werden müssen.

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, wobei die Steinkohlen ab 2012 umgemeldet sind.

Kokereigas, Gicht- und Konvertergas (Industriegase)

In den Zahlen zeigt sich eine deutliche Emissionsminderung - insbesondere bis Ende der 90er-Jahre - vor allem aufgrund der Einstellung der Stadtgaserzeugung bis 1996 sowie aufgrund eines deutlichen Rückgangs der Koksproduktion (1990: 19 Mio. t, 2009: 6,7 Mio. t, 2018: 9,2 Mio. t Steinkohlenkoks). Während es 1990 noch acht Zechenkokereien gab, gehören die derzeit noch

betriebenen fünf Kokereien alle zur Stahlindustrie. Die Steinkohlenkoksproduktion wird von der konjunkturbedingten Entwicklung der Stahlproduktion geprägt. Insgesamt führten Anlagenschließungen und Ertüchtigungen zu einer deutlichen Emissionsminderung in diesem Sektor. Bedingt durch die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung für einen Kohleausstieg und verstärkt durch die Corona-Krise seit 2020 stehen die Unternehmen zur Herstellung von festen Brennstoffen seit Jahren vor der Aufgabe betrieblicher Anpassungen, die mit Emissionsrückgängen einhergehen.

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

Die Anwendung einer länderspezifischen Berechnungsmethode (Tier 3) für identifizierte Hauptquellgruppen erfolgte auf Basis der aktuellen Hauptkategorienanalyse.

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* (Statistisches Bundesamt, 2022d) 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[27] und dem für die Trocknung notwendigen spezifischen Brennstoffeinsatz berechnet und als „Nicht- Energiebilanz“–Einsatz im ZSE verbucht und berichtet. Die Daten werden jährlich beim Bundesverband Braunkohle abgefragt und aktualisiert.

Die für die Herstellung von Steinkohlenkoks eingesetzten Brennstoffmengen werden direkt aus der Energiebilanzzeile 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 ürigen 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.

Die CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien werden ebenfalls 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.

[27] Statistik der Kohlewirtschaft, siehe https://kohlenstatistik.de/daten-fakten/ (Braunkohlen im Überblick)

Tabelle 29: CO_2-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien

[Mio. t CO_2]									
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	**2021**								
3,945	4,111								

Die Überarbeitung der Daten für 1990 und die Folgejahre 1991-1994 für die neuen Bundesländer ist letztmalig in Anhang 19.1.1 des NIR 2022 beschrieben.

Emissionsfaktoren

Eine Liste der verwendeten CO_2 Emissionsfaktoren, sowie eine methodische Beschreibung sind im Anhang, Kapitel 15.7 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 3.2.4.2 verfügbar. Die Forschungsvorhaben unterscheiden innerhalb des Sektors nach den Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus, den Kraftwerken des Braunkohlenbergbaus sowie den sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung.

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.

3.2.6.3 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 im Kapitel 3.2.4.3.1 beschrieben.

3.2.6.3.1 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-Emissionen aufweisen als andere Kohlefeuerungstechnologien. Das Emissionsverhalten bei Einsatz von Stein- und Braunkohlen wurde insbesondere beim 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 3.2.4.3.2 gelten entsprechend.

3.2.6.3.2 Ergebnis für CH_4

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3.3 gelten entsprechend.

3.2.6.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3.4 gelten entsprechend.

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

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.2 gelten entsprechend.

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

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

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut					Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2018	2.041,5	0,0	0,0	0,0	2.041,5	19,1%
2019	2.502,9	0,0	0,0	0,0	2.502,9	26,3%
2020	897,3	1,6	0,0	-694,7	204,2	2,3%

Im Berichtsjahr 2020 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Dadurch kommt es zu Rückrechnungen bei allen Brennstoffen. Außerdem kamm es nach detaillierter Prüfung der ETS Daten zu Erdgas zu Änderungen der Zuordnung zwischen dem Raffineriesektor (1.A.1.b) und dem übrigen Umwandlungsbereich (1.A.1.c) für die Jahre 2018 bis 2020.

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

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7 Verarbeitendes Gewerbe (1.A.2)

Die Berechnungsalgorithmen der Strukturelemente der BEU der Kategorie 1.A.2 wurden im Forschungsvorhaben „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. Die Berechnungsalgorithmen sind im genannten Forschungsvorhaben ausführlich dokumentiert.

Die Prozessfeuerungen werden zum großen Teil branchenbezogen berichtet. Die Disaggregation ist bei der vorhandenen Datenlage nicht vollständig UNFCCC-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, 2022d).

Bis 2001 wurde in der Statistik 067 lediglich der Brennstoffeinsatz zur Stromproduktion in Stromerzeugungsanlagen ausgewiesen. Seit 2002 wird der Brennstoffeinsatz sowohl zur Strom- als auch zur Wärmeproduktion angegeben. (Zu den Einsätzen zur Wärmeproduktion für die Jahre vor 2002 liegen keine Daten 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, Nanning, Hillebrand, et al. (2006), FKZ 204 42 203/02). Die eingesetzten Mengen an Regelbrennstoffen aller Subkategorien sind vollständig aus der Energiebilanz entnommen und in der BEU disaggregiert. Über die Energiebilanz hinaus werden in den relevantesten vier Industriebranchen Ersatzbrennstoffe berücksichtigt, die im Forschungsprojekt Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006) identifiziert wurden und seither über Verbandsdaten jährlich aktualisiert werden .

Detaillierte branchenspezifische Daten für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Prozessfeuerungen und in Industriekraftwerken werden für die Industriebranchen Zellulose - und Papierherstellung sowie Herstellung von Kalk und Zement verwendet.

Besonderheiten der Subkategorien sind in den Unterkapiteln beschrieben. Speziell die Besonderheiten der Sammelgruppe 1.A.2.g *Sonstige* sind zu beachten.

Für die im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) genannten Strukturelemente wurden die Unsicherheiten entsprechend der im Rahmen des Forschungsberichts Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006) dokumentierten Methode ermittelt. Dies ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben Juhrich and Wachsmann (2007) und im 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 dieser Kategorie 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 der deutschen Wiedervereinigung 1990.

In den Folgejahren auftretende Schwankungen der Emissionen spiegeln den konjunkturellen Verlauf der Produktion im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland wider.

3.2.7.1 Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 2 a, Iron and steel**	**fossil fuels**	**CO_2**	**35.269,3**	**2,7 %**	**37.835,2**	**5,0 %**	**7,3 %**
-/-	1 A 2 a, Iron and steel		CH_4	69,9	0,0 %	78,3	0,0 %	12,0 %
-/-	1 A 2 a, Iron and steel		N_2O	137,9	0,0 %	101,5	0,0 %	-26,4 %

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	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.

3.2.7.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.a)

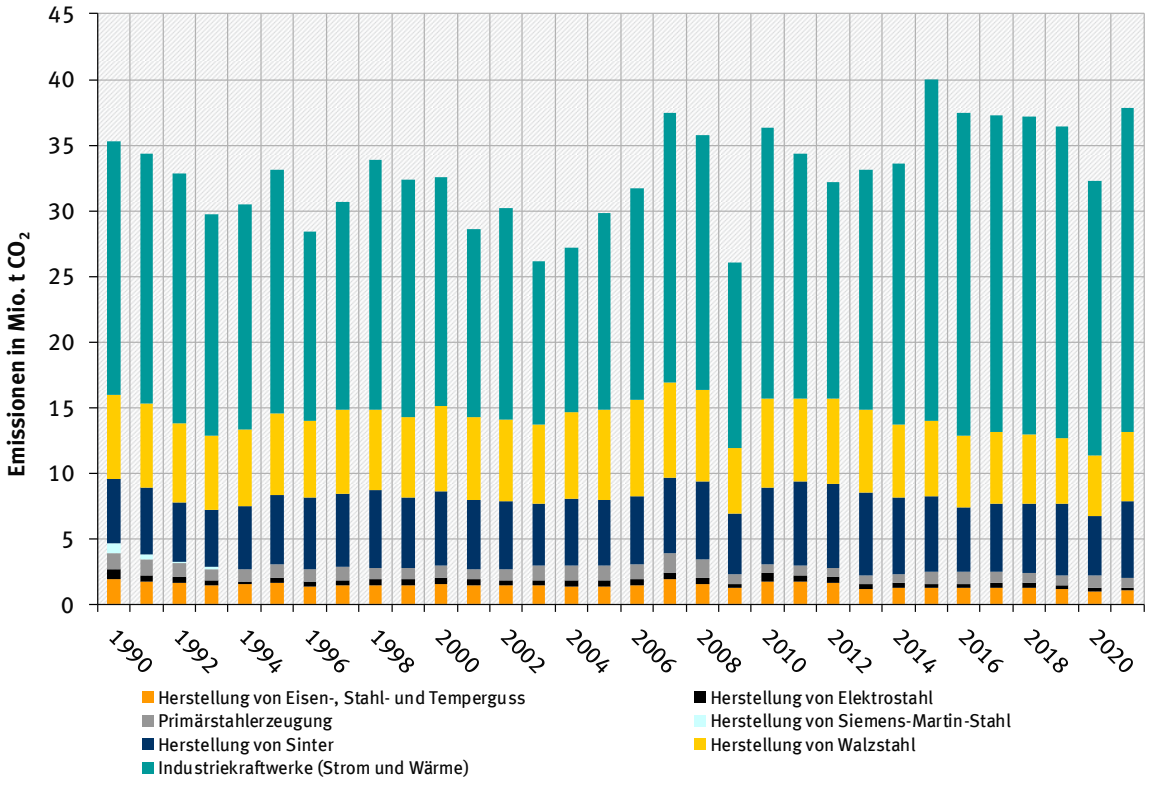
Diese Subkategorie umfasst die Prozessfeuerungen der verschiedenen Produktionsbereiche der Eisenschaffenden Industrie. Dazu gehören die Produktionsbereiche Roheisen (Hochofen), Eisenschwamm (Direktreduktion), Sinter, Walzstahl, Eisen- Stahl-Temperguss, Siemens-Martin-Stahl (bis 1993) und Elektrostahl, sowie Kraftwerke und Kessel der gesamten Stahlindustrie.

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, eine gesonderte Ausweisung der CO_2-Emissionen ist aus Geheimhaltungsgründen jedoch 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 26: Entwicklung der CO2-Emissionen in Kategorie 1.A.2.a nach Produkten



Die Übersicht zeigt über die Jahre z.T. große Schwankungen, die überwiegend der Produktionsentwicklung und damit der Konjunkturentwicklung in der Stahlindustrie 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 1990. Die Entwicklung in den Jahren 2009 und 2010 spiegelt die damalige Wirtschafts- und Finanzkrise und die darauf folgende Wiederbelebung der Konjunktur wider.

Der auffällige 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. In Summe betrachtet steigen die CO_2-Emissionen in diesem Jahr infolge des Produktionsanstieges nur leicht. Das ist in der *Abbildung 44: 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 *Vereins Deutscher Eisenhüttenleute* (VDEh) wird vermehrt der Einsatz von Erdgas und Braunkohlenstaub anstelle von eingeblasener Steinkohlen-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. Die Rückkehr in 2021 zum Niveau 2019 folgt der Entwicklung der Roheisenproduktion.

3.2.7.1.2 Methodische Aspekte (1.A.2.a)

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. Dieser ermöglicht eine verbesserte Disaggregation der Energiedaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU). Seit dem Berichtsjahr 2012, werden die Daten auf der Grundlage einer Vereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl in gleicher Struktur bereitgestellt.

Diese Angaben 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 feste und flüssige Einzelbrennstoffe in Energieeinheiten umgerechnet. Für die Gase wurde im BGS-Bogen eine Normierung auf 35,16912 MJ/m^3 definiert, die in der Methodik der Berechnung der Aktivitätsraten für Hochofen-, Kokerei-, Erd- und Konvertergas übernommen wurde.

Die Emissionsberechnung der Sekundärbrennstoffe ist and die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006), FKZ 204 42 203/02) angelehnt.

Im Bereich Eisen- und Stahlindustrie werden für die gesamte Zeitreihe ab 1990 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.

3.2.7.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a)

Unsicherheiten wurden im Jahr 2004 für alle Brennstoffe außer Ersatzbrennstoffe und für Ersatzreduktionsmittel hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methode ist im Forschungsbericht Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006) erläutert. Die Unsicherheiten wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten (FKZ 204 41 132)“ aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

3.2.7.1.4 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 3.2.4.4).

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.

3.2.7.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.a)

Für das Jahr 2020 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt.

Tabelle 31: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.a

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut					Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2020	-42,0	-1,2	0,0	-287,8	-331,0	-1,0%

3.2.7.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.a)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7.2 Verarbeitendes Gewerbe – Nichteisen-Metalle (1.A.2.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	1.629,2	0,1 %	1.444,7	0,2 %	-11,3 %
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH4	1,6	0,0 %	1,8	0,0 %	15,6 %
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals		N2O	15,2	0,0 %	6,7	0,0 %	-56,2 %

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.

3.2.7.2.1 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.

3.2.7.2.2 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, 2022b) Melde-Nr. 27.43 alt (WZ 2003) → 24.43 neu (WZ 2008): „*Erzeugung und erste Bearbeitung von Blei, Zink und Zinn*“ und 27.44 alt (WZ 2003) → 24.44 neu (WZ 2008): „*Erzeugung und erste Bearbeitung von Kupfer*“)und für Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2022d).

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“ mit neuem Datenmaterial überarbeitet und dokumentiert (Zander & Merten, 2006), s. Anhangkapitel 19.1.1 des NIR 2022.

3.2.7.2.3 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.

3.2.7.2.4 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 3.2.4.4).

3.2.7.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.b)

Tabelle 32: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.b

Einheit [kt]		Abweichung CO_2 absolut				Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2020	-66,4	28,7	-	0,3	-37,4	-2,5%

Nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz wurden die vorläufigen Werte für das Jahr 2020 durch aktuelle Werte ersetzt. Dadurch kommt es bei allen Brennstoffen zu Rückrechnungen.

3.2.7.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.b)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7.3 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 bestätigte auch das Forschungsprojekt „Basisjahr und Aktualisierung“ für das Jahr 1990 in den neuen Bundesländern (Zander & Merten, 2006): 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). 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 mit den verfügbaren Daten aus dem Emissionshandel abgeglichen werden. Dabei sollten zum einen Doppelzählungen mit dem IPPU-Sektor vermieden werden. Zum anderen sollte eine Untererfassung der Emissionen aus der Verbrennung der sonstigen hergestellten Gase ausgeschlossen werden. In der Energiestatistik werden erst ab dem Jahr 2012 relevante Gasmengen berichtet. 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 der Herstellung von Kunststoffen in Primärformen. Für die Rückrechnung der Gasverbräuche vor 2012 wurden für jeden Sektor die Hauptprodukte ermittelt. Diese Daten sind aus den jährlichen VCI Berichten „Chemiewirtschaft in Zahlen“ bis 1990 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 von der AGEB in der Energiebilanz 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.

3.2.7.4 Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff und Papierindustrie (1.A.2.d)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO_2	3,6	0,0 %	10,8	0,0 %	195,6 %
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH_4	0,7	0,0 %	2,7	0,0 %	267,8 %
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N_2O	2,5	0,0 %	9,2	0,0 %	267,8 %

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.

3.2.7.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.d)

Der Energieverbrauch für die Herstellung von Zellstoff und Papier, kann nur für Ersatzbrennstoffe abgebildet werden. Diese machen zugleich einen großen Anteil an den gesamten verwendeten Brennstoffen aus.

Emissionen aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen in Prozessfeuerungen sowie Emissionen der Eigenstromerzeuger sind in dieser Quellgruppe nicht gesondert ausgewiesen, sondern werden unter 1.A.2.g *Sonstige* zusammengefasst berichtet.

3.2.7.4.2 Methodische Aspekte (1.A.2.d)

Die in der Papierindustrie eingesetzten Ersatzbrennstoffe werden nur teilweise in der Energiebilanz abgebildet. Diese sind Abfälle aus dem eigenen Produktionsbereich. Die Angaben zu Arten und Mengen der eingesetzten Stoffe werden 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“Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006) 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. Nach aktueller Wirtschaftszweigsystematik (WZ 2008) sind hier Brennstoffeinsätzeentsprechend Wirtschaftszweignummer 17 „Herstellung von Papier, Pappe und Waren“ zuzuordnen.

Die eindeutige Zuordnung der Quelle zu einer Zeitreihe entsprechend der alten Wirtschaftszweigzuordnung (WZ 2003) ist nicht möglich. Dem Wirtschaftszweig 17 nach der neuen WZ 2008 stehen Anteile der Wirtschaftszweige 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 für die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2022d), die für die Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung herangezogen wird.

3.2.7.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d)

Im Rahmen des Forschungsprojekts Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006) wurden für die Ersatzbrennstoffe die Unsicherheiten der hergeleiteten CO_2-Emissionsfaktoren nach der Monte-Carlo-Methode bestimmt. Dabei wurden die Angaben zu C-Gehalt, Wassergehalt und Heizwert berücksichtigt. Diesen Angaben liegen Schätzungen mit Schwankungen und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse zugrunde und führen zu einer großen Unsicherheitsspanne. CO_2-Emissionsfaktoren für Sekundärbrennstoffe gelten inklusive der Unsicherheitenangabe für die gesamte Zeitreihe, weil keine Erkenntnisse zu Trends vorliegen.

3.2.7.4.4 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 spiegeln die dort bereitgestellten Daten die fortschreitende Substitution von Regel- durch Ersatzbrennstoffe in der Papierindustrie gut wider.

3.2.7.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.d)

Es waren keine Rückrechnungen nötig.

3.2.7.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.d)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7.5 Verarbeitendes Gewerbe – Zuckerherstellung (1.A.2.e)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/T	**1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco**	**fossil fuels**	**CO_2**	**2.015,9**	**0,2 %**	**231,0**	**0,0 %**	**-88,5 %**
-/-	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH_4	5,0	0,0 %	0,2	0,0 %	-96,3 %
-/-	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N_2O	21,9	0,0 %	1,8	0,0 %	-92,0 %

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 5). Aufgrund der seit 1990 stark gefallenen 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.

3.2.7.5.1 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.

3.2.7.5.2 Methodische Aspekte (1.A.2.e)

Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) werden die Berechnungsalgorithmen und Sonderauswertungen zum Brennstoffeinsatz ausführlich beschrieben.

3.2.7.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.e)

Erstmals für 2004 wurden für alle Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt, die weiterhin gelten. Die Methode ist im Anhangkapitel 13.6 des NIR 2007 erläutert.

3.2.7.5.4 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 3.2.4.4).

3.2.7.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.e)

Tabelle 33: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.e

Einheit [kt]		Abweichung CO_2 absolut				Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2020	25,7	-20,7	-	-6,6	-1,6	-0,7%

Für das Jahr 2020 wurden die vorläufigen Daten durch die mittlerweile vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Dadurch wurden Rückrechnungen für fast alle Energieträger notwendig.

3.2.7.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.e)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7.6 Verarbeitendes Gewerbe – Mineralische Industrie (1.A.2.f)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 2 f, Non-Metallic Minerals**	**fossil fuels**	**CO_2**	**18.507,4**	**1,4 %**	**12.149,8**	**1,6 %**	**-34,4 %**
-/-	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH_4	56,3	0,0 %	16,3	0,0 %	-71,0 %
-/-	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N_2O	182,5	0,0 %	98,7	0,0 %	-45,9 %

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/IE	NS/IE	CS/IE

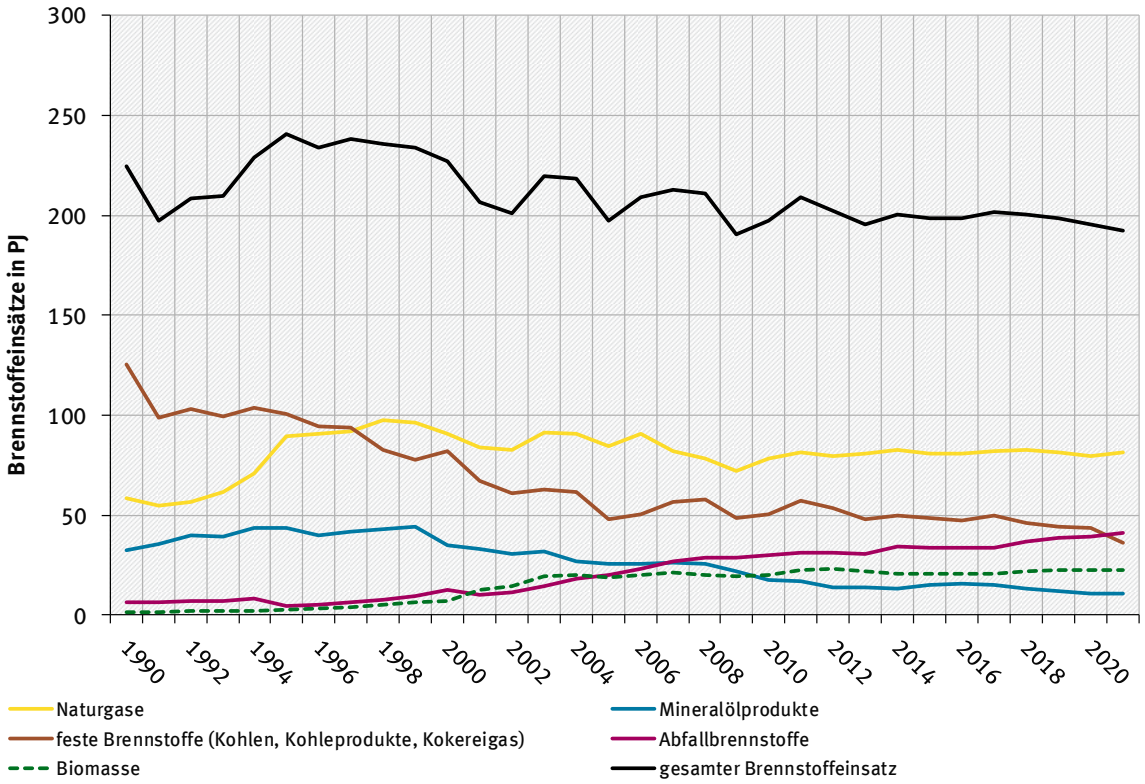
Die Kategorie *Verarbeitendes Gewerbe - Mineralische Industrie* (alle Subkategorien) ist für CO_2-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Im Inventar werden im Wesentlichen die Kategorien separat ausgewiesen, in denen Feuerungsanlagen mit einem spezifischen Emissionsverhalten, sogenannte Prozessfeuerungen, zum Einsatz kommen.

3.2.7.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

In dieser Kategorie werden u.a. 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 berücksichtigt. 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 gebranntem Kalk berücksichtigt. Gegebenenfalls stattfindende Eigenstromerzeugungen sind in 1.A.2.gviii *Sonstige* enthalten.

Abbildung 27: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.f Non-Metallic Minerals



Im Bereich der Mineralischen Industrie können mehrere Brennstoffwechsel beobachtet werden. So verdrängten Mitte der Neunzigerjahre gasförmige Brennstoffe (Naturgase) 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, aber auch durch Biomasse.

In den letzten Jahren werden die festen Brennstoffe in immer größerem Umfang durch die Sekundärbrennstoffe ersetzt.

3.2.7.6.2 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. 26.51alt (WZ 2003) → 23.51neu (WZ 2008): Herstellung von Zement, Melde-Nr. 26.40 alt (WZ 2003) → 23.32 neu(WZ 2008): Ziegelei, Herstellung von sonstiger Baukeramik, Melde-Nr. 26.1 alt (WZ 2003) → 23.1 neu (WZ 2008): Herstellung von Glas und Glaswaren sowie Melde-Nr. 26.52 alt (WZ 2003) → 23.52 neu (WZ 2008): 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 wird die Statistik 067 verwendet (Statistisches Bundesamt, 2022d).

Seit 2002 liegen die Daten der Statistik 067 nur im dreistelligen Meldenummernbereich vor. Das heißt, es können nur (aggregiertere) Daten derMeldenummer 26.5 alt (WZ 2003) → 23.5 neu (WZ 2008):Herstellung von Zement, Kalk und gebrannten Gips verwendet werden.

Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) und im NIR 2013 in den Kapiteln 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 (neben Zement- auch Kalkindustrie) genutzt. Das Verfahren für die Zusammenstellung der Aktivitätsdaten mit Raumbezug alten und neuen Bundesländer ab 1990 sowie Deutschland ab 1995 ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ dokumentiert (Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006), FKZ 204 42 203/02). In einem ersten Schritt wurden IPCC-gemäß die Brennstoffeinsätze den Gruppen Biomasse oder sonstige Brennstoffe (Abfälle) zugeordnet. Im zweiten Schritt wurden für Mischbrennstoffe biogene Anteile hergeleitet und über Splitfaktoren in die Berechnung eingespeist. Außerdem wurden CO_2-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet.

3.2.7.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Unsicherheiten wurden im Jahr 2004 für alle Brennstoffe und für die o.g. Ersatzbrennstoffe bestimmt. Die Methoden sind im Anhang 13.6 des NIR 2007 und im Endbericht des Forschungsprojekts (Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al., 2006) erläutert.Die Unsicherheitenwurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) aktualisiert und im dazugehörigenEndbericht dokumentiert.

3.2.7.6.4 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 3.2.4.4).

3.2.7.6.1 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Mineralische Industrie)

Tabelle 34: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.f

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut					Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2020	141,0	-134,9	26,9	-59,5	-26,5	-0,2%

Im Jahr 2020 kommt es zu Rückrechnungen bei allen konventionellen Energieträgern, da die vorläufigen Werte durch endgültige Energiebilanzwerte ersetzt wurden.

3.2.7.6.2 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7.7 Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 2 g, Other**	**fossil fuels**	**CO_2**	**126.762,0**	**9,8 %**	**73.315,6**	**9,6 %**	**-42,2 %**
-/-	1 A 2 g, Other		CH_4	148,8	0,0 %	237,5	0,0 %	59,6 %
-/-	1 A 2 g, Other		N_2O	842,6	0,1 %	530,0	0,1 %	-37,1 %

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 Kategorie 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.

3.2.7.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

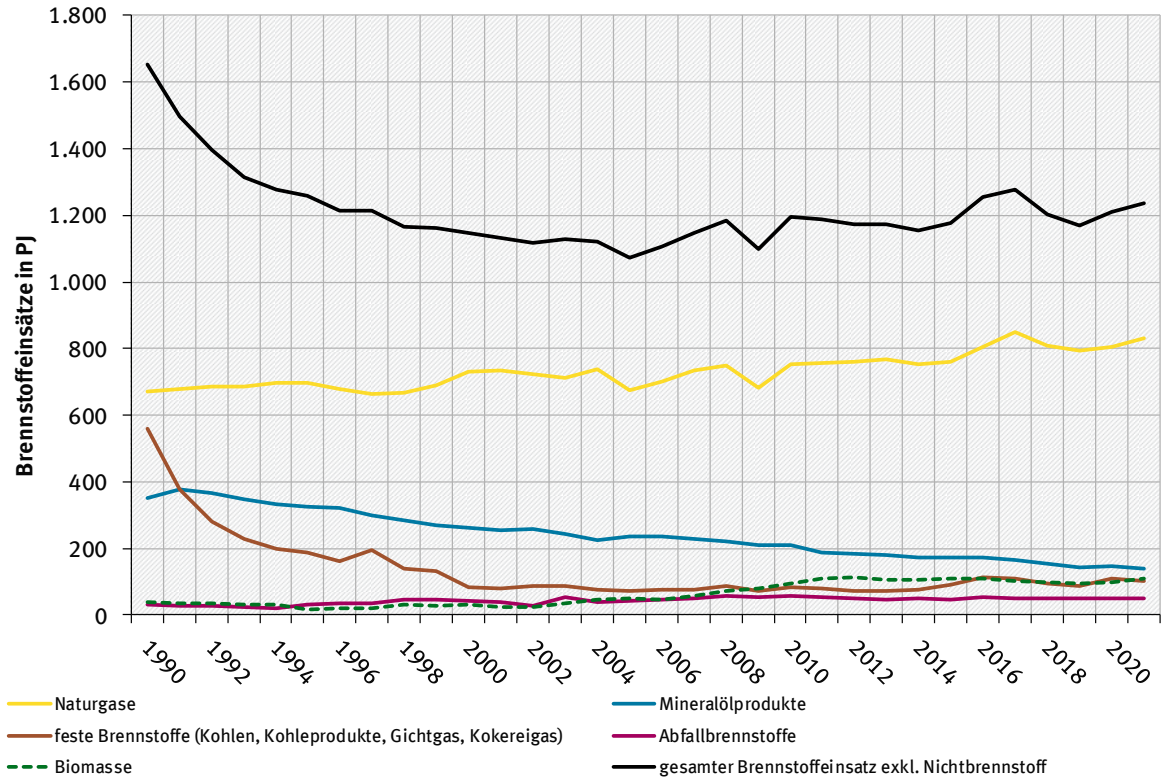
In dieser Subkategorie1.A.2.g werden alle Emissionen berichtet, für die sich die Energieeinsätze nicht entsprechend der Gliederung für 1.A.2 disaggregieren lassen. Diese Subkategorie ist für ca. 65% der gesamten CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.2 verantwortlich.

In dieser Subkategorie ist die gesamte Strom- und Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln aufgeführt, weil sich diese Anlagenarten aufgrund ihres ähnlichen Emissionsverhaltens in dieser Subkategorie zusammenfassen lassen. Da in der chemischen Industrie bzw. in der Kategorie 1.A.2.c im Wesentlichen KWK-Anlagen und Kessel zum Einsatz kommen, werden diese Emissionen nicht dort, sondern in der Subkategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet. Eine weitere Aufteilung der Industriekraftwerke und Kessel in die vorgesehenen Subkategorien wäre nicht mit einer höheren Datenqualität verbunden, da das Emissionsverhalten der Anlagen nicht vom Industriezweig abhängt. Zudem wäre gerade die Erstellung von Zeitreihen in einer zusätzlichen Subkategorie mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da Deutschland im Jahr 1990 noch aus zwei Ländern bestand und es dementsprechend auch zwei verschiedene statistische Systeme gab, die in einer Übergangszeit bis 1994 zusammengeführt wurden. Davon abgesehen 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. 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 Energiestatistikgesetzes im Jahr2017 führte zu keiner Verbesserung hinsichtlich der Disaggregationsmöglichkeiten der Industriekraftwerke und Kessel.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Grenze zwischen den einzelnen Industriesektoren und der öffentlichen Versorgung letztlich nicht eindeutig gezogen werden kann. 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 kam es zudem zu häufigen strukturellen Änderungen, zum Beispiel das Herauslösen der Energieerzeugungsanlagen aus dem restlichen rechtlichen Firmenverbund (Unbundling) und das daraus resultierende unterschiedliche Meldeverhalten zu den Energiestatistiken. 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 28: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.g viii Sonstige



Die Kategorie weist deutliche Verschiebungen im Brennstoffeinsatz aus.

Besonders auffällig ist der Rückgang des Einsatzes von festen Brennstoffen bis 2013, vor allem ein deutlich geringerer Einsatz von Braunkohle. Der Rückgang ist insbesondere in den Neunzigerjahren zu erkennen. Seit den 2000er-Jahren prägt der Einsatz der Naturgase den Trend des Gesamtenergieeinsatz. Vom Ende der Neunzigerjahre bis Anfang der 2010er-Jahre erhöhte sich der Einsatz von Biomasse im Trend. Im Bereich der Biomasse sind die Mengen erst seit der Einführung des Energiestatistikgesetzes im Jahr 2003 vollständig erfasst, in den Vorjahren wurde der Biomasseeinsatz zur Energieerzeugung statistisch nicht bzw. nur teilweise

erfasst. Der Einsatz von Abfallbrennstoffen ist im Vergleich zu den Neunzigerjahren gestiegen und bewegt sich seit etwa 2010 auf einem etwa gleichbleibenden Niveau.

3.2.7.7.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Die Brennstoffeinsätze zur Stromerzeugung in Industriekraftwerken sind in der Energiebilanzzeile 12 enthalten. Nach Abzug der Brennstoffeinsätze der Raffineriekraftwerke, der Grubenkraftwerke, der Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus und bis 1999 der Kraftwerke der Deutschen Bahn bleiben als Differenzbetrag die Aktivitätsdaten in den übrigen Industriekraftwerken, die sich zurzeit 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 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 15.7 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 3.2.4.2 verfügbar. Die Forschungsvorhaben unterscheiden innerhalb des Sektors nach Industriekraftwerken sowie den sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung.

3.2.7.7.3 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. Die Unsicherheiten wurden im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ aktualisiert und im Endbericht dokumentiert (Juhrich & Wachsmann, 2007).

Emissionsfaktoren

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Unsicherheiten ist imKapitel 3.2.4.3.1 beschrieben.

Ergebnis für N_2O: Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3.2 gelten entsprechend.

Ergebnis für CH_4: Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.4.3.3 gelten entsprechend.

Die Ergebnisse der Ermittlung der Zeitreihenkonsistenz des Kapitels 3.2.4.3.4 gelten entsprechend.

3.2.7.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

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 3.2.4.4).

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* verbessert. Andere, langfristig verfügbare Datenquellen konnten nicht identifiziert werden.

Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse der generellen Vorgehensweise bei der quellenspezifischen Qualitätssicherung / -kontrolle und Verifizierung des Kapitels 3.2.4.2 gelten entsprechend.

3.2.7.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Tabelle 35: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii nach Brennstoffen

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut					Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2018	0,0	-1.301,1	0,0	0,0	-1.301,1	-1,9%
2019	0,0	-1.000,8	0,0	0,0	-1.000,8	-1,5%
2020	2.598,3	-630,8	112,7	2.391,0	4.471,2	6,9%

Tabelle 36: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii - Abweichungen in der Summe aller Brennstoffe

Abweichung in der Summe aller Brennstoffe, CO_2 absolut										
Einheit [kt]	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**
	-983,77	-1109,75	-1186,47	-1301,15	-1433,36	-1531,31	-1578,76	-1656,78	-1801,68	-1834,85
Einheit [kt]	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
	-1975,39	-1846,51	-1641,3	-1665,84	-2313,9	-2096,9	-2192,96	-2211,06	-2231,54	-1574,37
Einheit [kt]	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
	-1439,83	-1434,34	-1102,07	-1106,61	-678,94	-987,03	-1156,38	-1487,76	-1301,1	-1000,78
Einheit [kt]	**2020**									
	4471,18									

Nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz wurden die vorläufigen Werte für das Jahr 2020 durch aktuelle Werte ersetzt. Dadurch kommt es bei allen Brennstoffen zu Rückrechnungen. Weitere Rückrechnungen über die gesamte Zeitreihe ergeben sich durch die Neuberechnung der CO_2 Emissionen für „sonstige hergestellte Gase“ (als Raffinerieprodukt den flüssigen Brennstoffen zugeordnet). Die Neuberechnung erfolgte auf Grundlage von aktuellen Auswertungen von Emissionshandelsdaten. Die ursprünglichen Berechnungen, die auf älteren ETS Auswertungen fußten, führten zu einer Überschätzung der Emissionen und zu einer anderen Allokation (siehe Kapitel 3.2.5.2).

3.2.7.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Aktivitätsraten:

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Emissionsfaktoren:

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.7.8 Bauwirtschaftlicher Verkehr (1.A.2.g vii)

3.2.7.8.1 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)

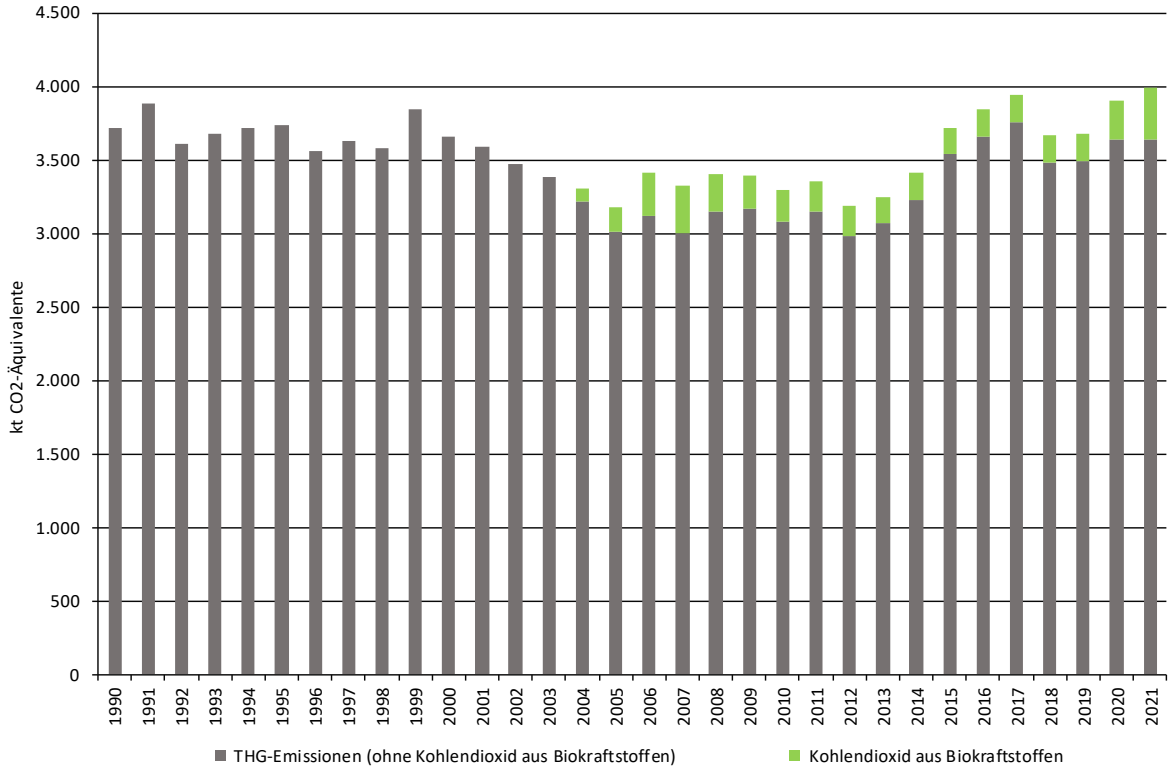
Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.2.g für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. (Übersicht siehe Kapitel 3.2.7.7.). Insofern ist die Kategorie *1.A.2.g vii – Übrige: Offroad-Fahrzeuge und sonstige Maschinen,* in der die Emissionen des bauwirtschaftlichen Verkehrs berücksichtigt sind, für CO_2 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

3.2.7.8.2 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 16.1.4).

Abbildung 29: 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, Heidt, & Bergk, 2021)

Die **Emissionsfaktoren** stützen sich auf Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und Expertenbetrachtungen des UBA.

Hinsichtlich Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 15.7 verwiesen. Es kommen sowohl landesspezifische als auch Default-Werte (Biodiesel) zum Einsatz. Weiterführende Informationen speziell zur Schmierstoffmitverbrennung finden sich in Kapitel 16.1.3.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte aus Knörr, Heidt, and Bergk (2021) 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 37: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Diesel & Biodiesel	0,66 (4,15)	2,95 (28,60)	gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021)
Ottokraftstoff & Bioethanol	18,9 (50)	1,41 (2,00)	gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021)

in Klammern: Defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2 – Energy , Kapitel 3 – Mobile , Tab. 3.3.1: Industry

3.2.7.8.3 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.

Für die wie oben beschrieben für Diesel und Ottokraftstoffe berechneten spezifischen Energieeinsätze werden dabei Unsicherheiten von ±10% angenommen.

Die für die verwendeten Emissionsfaktoren angenommenen Unsicherheiten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 38: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren*

	CO_2	CH_4	N_2O
Ottokraftstoffe	±0,4%	±34%	-40% / +140%
Diesel	±3%	±34%	-40% / +140%

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils

3.2.7.8.4 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 37
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	74.950	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 2021; [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 [a]	74.370	2,25	3,02
Belgien	74.001	6,98	5,15
Dänemark	73.631	1,99	3,46
Frankreich			
Italien			
Niederlande	72.276	1,33	0,70
Spanien	73.318	0,60	3,17
EU-27			
Großbritannien	74.137	13,0	2,92

Deutschland: IEF für das Berichtsjahr 2021; alle anderen: IEF für 2020 gemäß CRF-Submission 2022

3.2.7.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g vii)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Wie oben beschrieben, sind die Aktivitätsraten des bauwirtschaftlichen Verkehrs Teil der in EBZ 67 angegebenen Primärdaten. Für das Jahr 2020 wurden hier die in Submission 2022 noch vorläufigen Daten durch Angaben der finalen NEB 2020 ersetzt. Die anhand der offiziellen Beimengungsraten ermittelten Mengen eingesetzter Biokraftstoffe wurden entsprechend neu berechnet.

Tabelle 42: revidierte Primäraktivitätsdaten 2020, in Terajoule

	Dieselkraftstoff	Ottokraftstoff	Biodiesel	Bioethanol
Submission 2023	105.634	12.465	8.775	567
Submission 2022	104.580	11.106	8.687	505
Änderung absolut	1.054	1.360	87	62
Änderung relativ	1,01%	12,2%	1,01%	12,3%

Quelle: Energiebilanz 2020 (AGEB, 2021c) und eigene Berechnungen basierend auf Knörr, Heidt, and Bergk (2021)

Gleichzeitig erfolgte für alle Jahre eine Korrektur der in TREMOD-MM erzeugten Splitfaktoren zur Aufteilung der Primäraktivitätsdaten auf die in EBZ subsummierten Kleinverbraucher. Die prozentualen Anteile des bawuirtschaftlichen Verkehrs an EBZ 67 änderten sich dabei wie folgt:

Tabelle 43: revidierte pronzentuale Anteile an EBZ 67

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dieselkraftstoffe											
Subm. 2023	0,430	0,464	0,471	0,438	0,432	0,432	0,431	0,430	0,426	0,425	0,422
Subm. 2022	0,430	0,464	0,470	0,437	0,431	0,431	0,430	0,429	0,426	0,424	0,421
Änd. absolut	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Änd. relativ	0,17%	0,17%	0,17%	0,16%	0,16%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%
Ottokraftstoffe											
Subm. 2023	0,315	0,597	0,551	0,586	0,645	0,667	0,684	0,681	0,642	0,632	0,597
Subm. 2022	0,315	0,597	0,551	0,586	0,645	0,667	0,684	0,681	0,642	0,632	0,596
Änd. absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Änd. relativ	0,01%	0,00%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr, Heidt, and Bergk (2021)

Aus der Gesamtheit der beschriebenen Anpassungen resultierten folgende Veränderungen der letztlich dem bauwirtschaftlichen Verkehr zugewiesenen Aktivitätsdaten:

Tabelle 44: resultierende Revision der Aktivitätsdaten, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dieselkraftstoff											
Subm. 2023	48.161	45.414	44.743	35.942	38.221	43.753	45.351	46.567	43.154	43.577	44.476
Subm. 2022	48.078	45.337	44.668	35.884	38.160	43.686	45.281	46.495	43.087	43.509	43.962
Änd. absolut	83,9	76,9	74,5	58,5	61,1	67,2	70,0	72,1	67,4	68,3	514
Änd. relativ	0,17%	0,17%	0,17%	0,16%	0,16%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%	0,16%	1,17%
Ottokraftstoffe											
Subm. 2023	1.420	4.453	4.079	4.284	2.845	3.364	3.441	3.421	3.220	2.937	3.961
Subm. 2022	1.420	4.453	4.079	4.283	2.844	3.363	3.440	3.421	3.220	2.937	3.150
Änd. absolut	0,15	-0,09	0,63	0,72	0,41	0,46	0,44	0,45	0,47	0,44	812
Änd. relativ	0,01%	0,00%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	25,8%
Biodiesel											
Subm. 2023	0	0	0	2.297	2.930	2.393	2.404	2.486	2.509	2.482	3.694
Subm. 2022	0	0	0	2.293	2.926	2.390	2.401	2.482	2.505	2.478	3.652
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	3,74	4,68	3,68	3,71	3,85	3,92	3,89	42,6
Änd. relativ				0,16%	0,16%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%	0,16%	1,17%
Bioethanol											
Subm. 2023	0	0	0	29	110	146	149	144	145	127	181
Subm. 2022	0	0	0	29	110	146	149	144	145	127	144
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	37,1
Änd. relativ				0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	25,8%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr, Heidt, and Bergk (2021)

Hinzu kommt eine Revision der Emissionsfaktoren für Methan aus dem Einsatz von Dieselkraftstoffen:

Tabelle 45: revidierte Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Subm. 2023	4,54	3,82	3,22	2,15	1,41	0,98	0,91	0,84	0,78	0,72	0,67
Subm. 2022	4,54	3,82	3,22	2,15	1,41	0,98	0,90	0,83	0,77	0,71	0,66
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Änd. relativ	-0,03%	-0,02%	0,00%	0,03%	0,05%	0,27%	0,47%	0,69%	0,94%	1,22%	1,52%

Quelle: Knörr, Heidt, and Bergk (2021)

Aus den beschriebenen Korrekturen resultiert eine Rekalkulation der berichteten Emissionen.

Tabelle 46: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid [a]											
Subm. 2023	3.669	3.687	3.610	2.983	3.049	3.502	3.626	3.715	3.447	3.457	3.605
Subm. 2022	3.663	3.682	3.605	2.979	3.045	3.497	3.621	3.710	3.442	3.452	3.506
Änd. absolut	6,22	5,69	5,56	4,39	4,57	5,02	5,23	5,39	5,04	5,11	98,2
Änd. relativ	0,17%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	0,14%	0,14%	0,15%	0,15%	0,15%	2,80%
Methan											
Subm. 2023	0,253	0,271	0,226	0,168	0,117	0,115	0,114	0,112	0,102	0,094	0,113
Subm. 2022	0,252	0,271	0,226	0,167	0,116	0,114	0,114	0,111	0,102	0,093	0,094
Änd. absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,019
Änd. relativ	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%	0,17%	0,25%	0,32%	0,39%	0,47%	0,91%	20,2%
Lachgas											
Subm. 2023	0,138	0,137	0,137	0,119	0,126	0,141	0,146	0,150	0,140	0,140	0,148
Subm. 2022	0,138	0,137	0,137	0,119	0,126	0,141	0,146	0,150	0,139	0,140	0,145
Änd. absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Änd. relativ	0,14%	0,14%	0,15%	0,15%	0,15%	0,14%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	1,95%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]											
Subm. 2023	3.716	3.735	3.657	3.023	3.090	3.547	3.673	3.763	3.492	3.501	3.651
Subm. 2022	3.710	3.729	3.651	3.018	3.085	3.542	3.667	3.757	3.486	3.496	3.552
Änd. absolut	6,29	5,75	5,63	4,45	4,63	5,09	5,30	5,46	5,11	5,19	99,5
Änd. relativ	0,17%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	0,14%	0,14%	0,15%	0,15%	0,15%	2,80%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.7.8.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.8 Transport (1.A.3)

3.2.8.1 Transport - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)

3.2.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO2	2.263,4	0,2 %	732,3	0,1 %	-67,6 %
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation		CH4	2,8	0,0 %	1,7	0,0 %	-40,6 %
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation		N2O	20,3	0,0 %	6,6	0,0 %	-67,4 %

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 Houghton et al. (1997) und spezifischem Heizwert gemäß AGEB (2021c)

[c] abgeleitet aus Tier3-defaults gemäß EMEP/EEA (2019a)

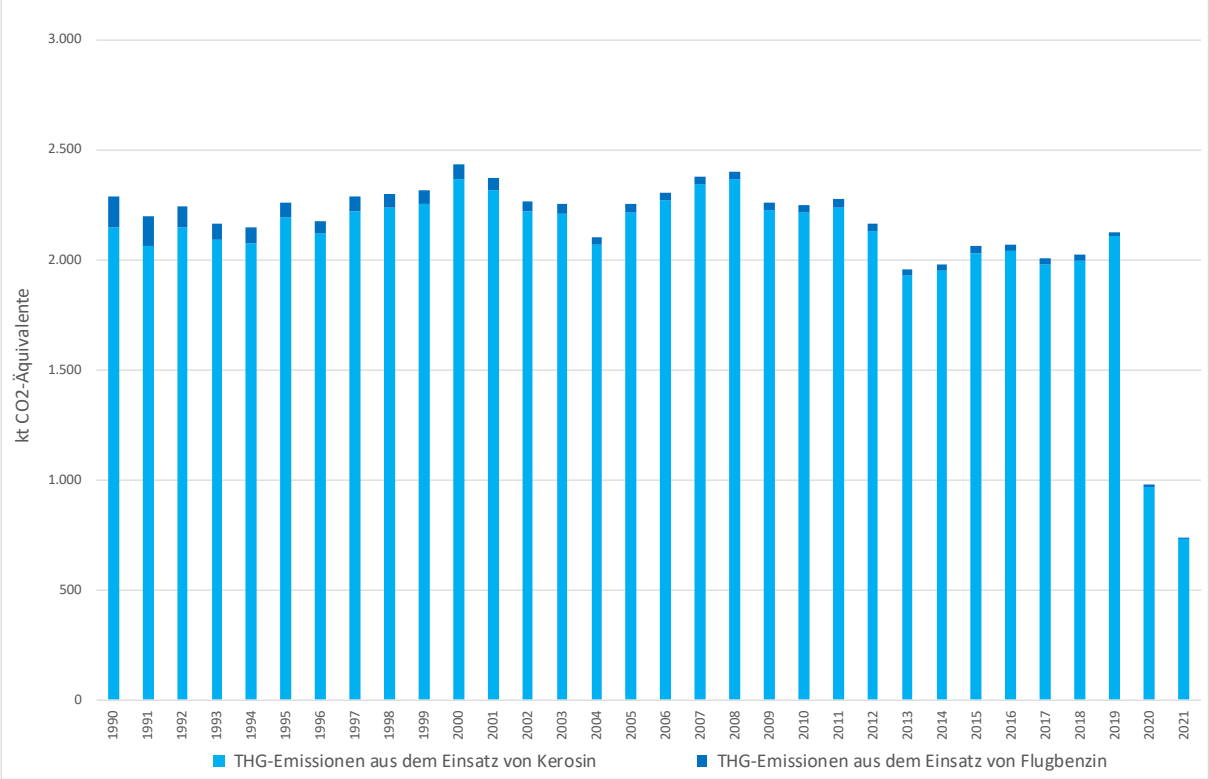
Die Kategorie *Ziviler Luftverkehr* ist keine Hauptkategorie.

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 30: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des nationalen zivilen Flugverkehrs seit 1990



3.2.8.1.2 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, 2022c) 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, 2022c)*.

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 47: jährliche Anteile der Inlandsflüge an den Treibstoff-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Kerosin	15,0	12,7	10,8	8,70	8,28	8,74	7,78	6,95	7,28	7,58	7,09	6,29	6,17	6,55	6,53	3,83
Flugbenzin	79,0	80,9	79,7	78,0	77,4	82,3	81,9	82,0	83,4	81,6	90,6	90,4	91,1	92,1	93,7	91,8

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

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 16.1.3 im Anhang).

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird grundsätzlich auf Kapitel 15.7 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 484). 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 16.1.2.1 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 48: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Kerosin: LTO	16,4	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, Allekotte, et al. (2021) und Gores (2021); in Klammern: Defaults gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5

3.2.8.1.3 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.

Die Unsicherheiten wurden einerseits für Primäraktivitätsdaten (PAD), deren Verteilparameter (Splitfaktoren, SF) , die sich ergebenenden spezifischen Aktivitätsdaten, andererseits für die verwendeten Emissionsfaktoren ermittelt. Die Unsichheiten der den nationalen Energiebilanzen entnommenen Primäraktivitätsdaten sowie der Kohlendioxid-Emissionsfaktoren stellen dabei Expertenschätzungen dar. Alle weiteren Unsicherheiten wurden dagegen im Rahmen einer

Studie abgeleitet (Allekotte et al., 2022). Sämtliche Unsicherheitenangaben gelten dabei jeweils für die gesamte Zeitreihe.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die spezifischen Unsicherheiten.

Tabelle 49: verwendete spezifische Unsicherheiten

Parameter		Verteilung	untere Schranke	obere Schranke
PAD	Kerosin	normal	-5,00%	5,00%
	Flugbenzin	normal	-5,00%	5,00%
SF	Kerosin national	lognormal	-7,06%	7,44%
	Flugbenzin national	normal	-16,2%	16,2%
	Kerosin national: L/TO	lognormal	-7,42%	7,85%
	Flugbenzin national: L/TO	lognormal	-85,1%	250%
AD	Kerosin - L/TO	normal	-4,10%	4,10%
	Kerosin - Reiseflug	normal	-9,91%	9,91%
	Flugbenzin - L/TO	lognormal	-81,8%	221%
	Flugbenzin - Reiseflug	normal	-39,9%	39,9%
EF	CO_2 Kerosin	normal	-5,00%	5,00%
	CO_2 Flugbenzin	normal	-5,00%	5,00%
	CH_4 Kerosin: L/TO	lognormal	-59,6%	81,4%
	CH_4 Kerosin: Reiseflug		NA	
	N_2O Kerosin: L/TO	normal	-38,0%	38,0%
	N_2O Kerosin: Reiseflug	normal	-24,0%	24,0%
	CH_4 Flugbenzin: L/TO	lognormal	-71,4%	156%
	CH_4 Flugbenzin: Reiseflug		NA	
	N_2O Flugbenzin: L/TO	normal	-44,8%	44,8%
	N_2O Flugbenzin: Reiseflug	normal	-43,5%	43,5%

Quelle: Expertenschätzung oder Allekotte et al. (2022)

3.2.8.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.a)

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 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/EEA (2019a) entnommen wurden. Eine Diskussion der einzelnen Von Eurocontrol bereitgestellte landesspezifische Verbrauchs- und Emissionsdaten werden derzeit nur zur Verifikation der eigenen Erhebungen herangezogen.

Tabelle 50: 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 51
CH_4, N_2O	spezif. Tier 1 default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5	siehe Tabelle 48
CO_2, CH_4, N_2O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 52

Tabelle 51: 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	71.199		*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 52: 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	5,53	2,49	71.199	35,9	2,30
Belgien	72.148	4,44	5,81	71.991	31,5	2,58
Dänemark	71.868	0,40	3,22	72.769	8,11	2,00
Frankreich	73.488	0,50	2,00	70.500	13,5	2,00
Italien	71.500	1,15	2,00	70.000	4,87	1,98
Niederlande	71.500	0,50	2,00	72.000	0,50	2,00
Spanien	72.917	1,06	1,98	70.602	0,50	1,98
EU-27	72.713	1,26	2,83	70.447	9,77	4,50
Großbritannien	71.713	1,30	2,28	69.766	56,2	2,23

Deutschland: aktuelle IEF für das Berichtsjahr 2021; alle anderen: IEF für 2020 gemäß CRF-Submission 2022

3.2.8.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.a)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Infolge der Revision der im Modell TREMOD AV hinterlegten jährlichen Anteile der Inlandsflüge an den Gesamt-Inlandsablieferungen von Kerosin kommt es gegenüber der Submission 2022 zu Rückrechnungen für alle betrachteten Jahre.

Tabelle 53: revidierte jährl. Anteile der Inlandsflüge an Treibstoff-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flugturbinentreibstoff / Kerosin											
Submission 2023	15,0	12,7	10,8	8,70	8,28	7,58	7,09	6,29	6,17	6,55	6,53
Submission 2022	16,1	12,1	11,8	9,67	8,59	7,34	7,17	6,82	6,73	6,94	6,99
Änderung abs.	-1,06	0,60	-1,05	-0,97	-0,31	0,24	-0,08	-0,54	-0,56	-0,39	-0,47
Änderung rel.	-6,58%	4,97%	-8,87%	-10,1%	-3,65%	3,28%	-1,18%	-7,85%	-8,39%	-5,64%	-6,67%
Flugbenzin											
Submission 2023	79,0	80,9	79,7	78,0	77,4	81,6	90,6	90,4	91,1	92,1	93,7
Submission 2022	79,0	80,9	79,7	78,0	77,3	81,5	90,6	90,4	91,1	92,1	93,7
Änderung abs.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Änderung rel.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,05%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,02%

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

Die durch Inlandsflüge verbrauchten Treibstoffmengen wurden damit in gleichem Maße nach oben korrgiert.

Tabelle 54: resultierende Revision der Inlandsverbräuche, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flugturbinentreibstoff / Kerosin											
Submission 2023	29.025	29.642	31.999	29.908	29.957	27.424	27.581	26.727	26.959	28.447	13.048
Submission 2022	31.070	28.240	35.112	33.258	31.092	26.554	27.911	29.003	29.429	30.148	13.980
Änderung abs.	-2.045	1.402	-3.113	-3.350	-1.135	870	-330	-2.276	-2.470	-1.701	-932
Änderung rel.	-6,58%	4,97%	-8,87%	-10,1%	-3,65%	3,28%	-1,18%	-7,85%	-8,39%	-5,64%	-6,67%
Flugbenzin											
Submission 2023	1.927	924	892	544	439	451	369	364	354	294	195
Submission 2022	1.927	924	892	544	439	451	369	364	354	294	195
Änderung abs.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,23	0,07	0,08	0,04	0,03	0,04
Änderung rel.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,05%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,02%
GESAMT-TREIBSTOFFEINSATZ											
Submission 2023	30.952	30.566	32.891	30.452	30.396	27.875	27.949	27.091	27.313	28.741	13.243
Submission 2022	32.997	29.164	36.005	33.802	31.531	27.004	28.279	29.367	29.783	30.442	14.175
Änderung abs.	-2.045	1.402	-3.113	-3.350	-1.135	871	-330	-2.276	-2.470	-1.701	-932
Änderung rel.	-6,2%	4,8%	-8,6%	-9,9%	-3,6%	3,2%	-1,2%	-7,7%	-8,3%	-5,6%	-6,6%

Quelle: eigene Berechnunge

Zudem wurde, ausgehend von Ergebnissen einer breit angelegten Messkampangne, der bisher verwendete default-Emissionsfaktor für CO_2 aus dem Einsatz von Flugbenzin in Höhe von 70.000 kg/TJ durch einen landesspezifischen Wert in Höhe von 71.199 kg/TJ ersetzt (Juhrich, 2022).

Aus der Gesamtheit der beschriebenen Anpassungen ergibt sich die im Folgenden dargestellte Neuberechneung der Emissionen.

Tabelle 55: revidierte THG-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid - CO2											
Subm. 2023	2.263	2.237	2.408	2.230	2.226	2.041	2.047	1.984	2.000	2.105	970
Subm. 2022	2.411	2.133	2.635	2.474	2.308	1.977	2.070	2.150	2.181	2.229	1.038
Änderung abs.	-147	104	-227	-245	-82,6	64,3	-23,7	-166	-181	-124	-68,1
Änderung rel.	-6,12%	4,87%	-8,62%	-9,89%	-3,58%	3,25%	-1,15%	-7,73%	-8,28%	-5,57%	-6,56%
Subm. 2023	0,101	0,082	0,086	0,079	0,076	0,079	0,078	0,079	0,082	0,087	0,056
Subm. 2022	0,105	0,079	0,093	0,086	0,078	0,077	0,079	0,086	0,089	0,092	0,060
Änderung abs.	-0,004	0,003	-0,007	-0,008	-0,003	0,002	-0,001	-0,006	-0,007	-0,005	-0,004
Änderung rel.	-4,17%	3,78%	-7,17%	-8,73%	-3,24%	2,88%	-1,09%	-7,23%	-7,73%	-5,28%	-6,27%
Subm. 2023	0,076	0,075	0,081	0,075	0,075	0,069	0,069	0,067	0,067	0,071	0,033
Subm. 2022	0,082	0,072	0,088	0,083	0,078	0,067	0,070	0,072	0,073	0,075	0,035
Änderung abs.	-0,005	0,003	-0,008	-0,008	-0,003	0,002	-0,001	-0,006	-0,006	-0,004	-0,002
Änderung rel.	-6,22%	4,82%	-8,66%	-9,92%	-3,60%	3,23%	-1,17%	-7,76%	-8,30%	-5,59%	-6,59%
Subm. 2023	2.289	2.262	2.434	2.254	2.250	2.064	2.069	2.006	2.022	2.128	981
Subm. 2022	2.438	2.157	2.663	2.501	2.334	1.999	2.093	2.174	2.205	2.254	1.050
Änderung abs.	-149	105	-229	-247	-83,5	65,0	-24,0	-168	-183	-126	-68,9
Änderung rel.	-6,12%	4,87%	-8,62%	-9,89%	-3,58%	3,25%	-1,15%	-7,73%	-8,28%	-5,57%	-6,56%

Quelle: eigene Berechnungen

3.2.8.1.6 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)[28].

[28] https://www.eurocontrol.int/model/advanced-emission-model

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.8.2 Transport - Straßenverkehr (1.A.3.b)

3.2.8.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO_2	151.889,8	11,8 %	142.140,8	18,6 %	-6,4 %
-/T	1 A 3 b, Road Transport		CH_4	1.812,7	0,2 %	231,4	0,0 %	-87,2 %
-/T	1 A 3 b, Road Transport		N_2O	1.123,4	0,1 %	1.351,5	0,2 %	20,3 %

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.

3.2.8.2.2 Methodische Aspekte (1.A.3.b)

- siehe auch Kapitel 16.1.2.2 -

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.

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 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).

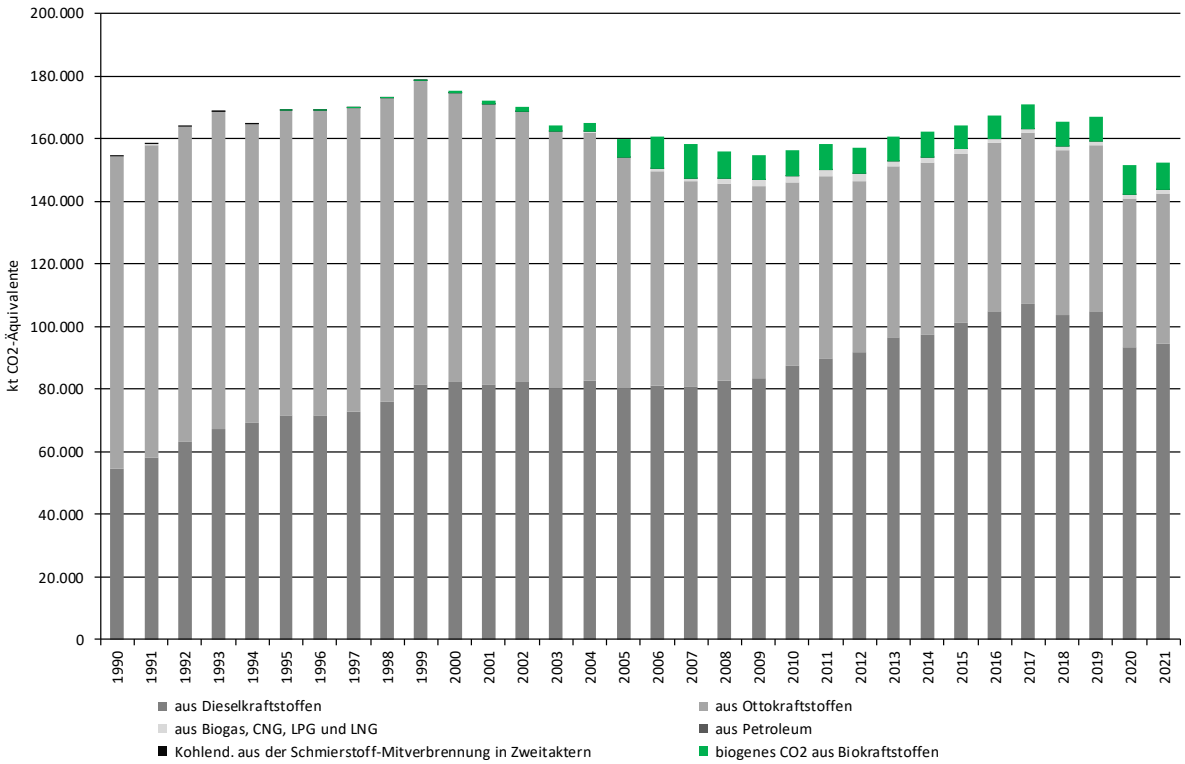
Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 16.1.4).

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.

Auch ohne die drastischen Kontaktbeschränkungen des Vorjahres stand das Jahr 2021 nach wie vor im Zeichen der Pandemie. Insbesondere der Pkw-Verkehr lag dabei weiterhin deutlich unter den Werten des Jahres 2019: Eine geringere Fahrleistung aufgrund von Lockdowns und Reisebeschränkungen und damit einhergehende reduzierte Kraftstoffverbräuche erklären den weitaus größten Teil der ggü. 2019 weiterhin deutlich verminderten Emissionen. In geringerem Maße trugen zu dieser Minderung auch Motor-seitige Effizienzgewinne sowie eine gegenüber 2019 weiter erhöhte Zahl an Elektrofahrzeugen bei. Eine verglichen mit dem Vorjahr leicht erhöhte Fahrleistung im Straßengüterverkehr sowie ein geringerer Biokraftstoff-Absatz wirkten sich dagegen emissionssteigernd aus. In Summe fiel der Wiederanstieg der Treibhausgas-Emissionen gegenüber 2020 mit knapp 1% recht moderat aus.

Abbildung 31: 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 16.1.2.2) (Knörr, Heidt, Gores, et al., 2021)[29]. 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.

[29] 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 56: Emissionen des Straßenverkehrs, in Kilotonnen

	CO_2		CH_4	N_2O	NO_x	CO	NMVOC [c]	SO_2
	fossil [a]	*biogen* [b]						
1990	151.890	0	64,7	4,24	1.313	7.598	1.536	76,3
1995	166.452	106	31,9	5,87	1.140	4.332	703	69,3
2000	172.541	869	19,8	5,30	973	2.550	355	19,7
2005	153.040	5.591	13,1	2,84	782	1.620	206	0,80
2010	146.752	8.530	9,53	3,36	661	1.219	127	0,72
2015	155.315	7.538	8,65	4,54	600	1.091	100	0,75
2016	158.430	7.561	8,88	4,85	572	1.061	97,5	0,83
2017	161.492	7.706	9,21	5,14	538	1.036	95,6	0,77
2018	155.930	8.024	8,96	5,15	479	967	89,8	0,75
2019	157.444	7.985	8,99	5,33	433	934	87,8	0,83
2020	140.593	9.636	8,37	5,04	341	772	81,6	0,75
2021	142.141	8.617	8,27	5,10	319	759	80,3	0,75

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

[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, Heidt, Gores, et al. (2021) 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) 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 15.7 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 16.1.3.

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 grund-

legenden 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.

3.2.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.b)

Im Rahmen eines noch unveröffentlichen Gutachens wurden die Unsicherheiten der in TREMOD einfließenden Aktivitätsdaten sowie der darin erzeugten Emissionsfaktoren für Methan und Distickstoffoxid ermittelt. Die Unsicherheiten der Kohlendioxid-Emissionsfaktoren basieren dagegen auf Expertenschäötzungen und Brennstoffanalysen.

Tabelle 57: relative Unsicherheiten der Kohlendioxid-Emissionsfaktoren *, in %

	EF CO_2
Dieselkraftstoffe	±3,00
Ottokraftstoffe	±0,40
Erdgas	±1,00
Flüssiggas	±2,00
LNG	±1,00
Biodiesel	±5,00
Bioethanol	±1,00

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils; basierend auf Expertenschätzungen und Brennstoffanalysen

Tabelle 57: relative Unsicherheiten der Aktivitätsdaten und IEF für Methan und Lachgas *, in %

	AD		IEF CH_4		IEF N_2O	
	U_{min}	U_{max}	U_{min}	U_{max}	U_{min}	U_{max}
1.A.3.b i - Personenkraftwagen						
Dieselkraftstoffe	-18,5	27,0	-47,4	95,1	-36,5	74,7
Ottokraftstoffe	-17,3	27,5	-36,2	53,0	-33,5	81,6
Erdgas	-30,2	52,2	-24,3	40,8	-31,8	50,7
Flüssiggas	-34,0	53,7	-36,7	77,7	-84,8	354
Biodiesel	-18,6	26,9	-47,5	95,6	-36,9	75,8
Bioethanol	-17,5	27,3	-36,1	52,4	-33,3	80,2
1.A.3.b ii - Leichte Nutzfahrzeuge						
Dieselkraftstoff	-14,0	18,2	-46,2	101	-35,8	67,5
Ottokraftstoff	-20,6	28,6	-30,1	37,8	-21,9	30,4
Erdgas	-21,7	36,4	-35,5	59,9	-23,3	31,5
Biodiesel	-14,3	18,8	-46,1	103	-35,8	68,2
Bioethanol	-20,8	28,8	-30,4	37,5	-21,9	30,7
1.A.3.b iii - Schwere Nutzfahrzeuge (inkl. Busse)						
Dieselkraftstoff	-25,8	34,1	-36,1	51,7	-28,8	51,4
Erdgas	-27,0	40,8	-18,8	34,7	NA	NA
LNG	-35,9	48,0	-14,2	11,4	NA	NA
Biodiesel	-25,8	33,9	-36,5	52,0	-28,9	52,8
1.A.3.b iv - motorisierte Zweiräder (Mopeds & Motorräder)						
Ottokraftstoff	-27,4	45,1	-22,5	29,4	-25,7	46,4
Bioethanol	-27,1	44,9	-22,5	29,9	-25,6	45,5

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils; modelliert

3.2.8.2.4 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[30].

[30] 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 57: 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 58
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 59

Tabelle 58: 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	74.950	69.300	67.500	73.000
Erdgas	55.786	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 2021; [b] gemäß IPCC (2006b): Kapitel 2, Tabelle 2.4

Tabelle 59: internationaler Vergleich der verwendeten EF(CO_2), in kg/TJ

	Benzin	Diesel	LPG	CNG	LNG	Biomass	Bio-diesel	Bio-ethanol	Biogas
Deutschland	74.950	74.027	66.334	55.786	55.944	71.720	70.800	71.607	90.584
Belgien	72.229	74.235	64.896	57.861		71.950			
Dänemark	72.986	74.094	63.100	56.800		74.449			
Frankreich	74.421	74.835	65.254	56.349		70.120			
Italien	72.502	73.512	65.986	57.763		74.091			
Niederlande	73.023	72.454	66.700	56.400		72.097			
Spanien	74.816	73.648	67.133	56.089		76.786			
EU-27	72.831	74.163	65.374	57.161		72.184			
Großbritannien	70.209	73.792	IE	IE		IE			

[a] verwendet für das Berichtsjahr 2021; b gemäß UNFCCC GHG Locator 2022

Für einen detaillierten Vergleich der impliziten Emissionsfaktoren für Methan und Distickstoffoxid mit den Angaben anderer Staaten sowie den sich für die EU(27) ergebenden Werten wird auf Kapitel 16.1.2.3.3 im Anhang dieses Berichtes verwiesen.

3.2.8.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.b)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Gegenüber der Submission 2022 erfolgten Rückrechnungen sowohl aufgrund revidierter Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren.

Dabei wurden die zuletzt vorläufigen Angaben der Energiebilanz 2020 durch finale Werte ersetzt.

Tabelle 60: revidierte Energieeinsätze 2020, in Terajoule

	Diesel	Biodiesel	Benzin	Biobenzin	Erdgas	LPG	LNG	Biogas	Schmierst.*
Submission 2023	1.239.658	102.973	629.435	28.737	5.912	9.551	2.511	3.181	80,4
Submission 2022	1.241.557	103.133	629.926	28.759	6.933	13.667	2.108	3.181	78,0
Änderung absolut	-1.898	-159	-491	-22,6	-1.021	-4.115	402	0,00	2,45
Änderung relativ	-0,15%	-0,15%	-0,08%	-0,08%	-14,7%	-30,1%	19,1%	0,00%	3,14%

Quelle: Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021) basierend auf AGEB (2021b) und (en2x, 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 2022 berichteten Emissionsmengen.

Tabelle 61: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.A.3.b i - PKW											
Subm. 2023	115.320	118.085	114.904	105.795	95.631	100.083	102.089	104.306	100.005	100.282	86.228
Subm. 2022	114.752	117.271	113.960	104.796	95.178	99.526	101.541	103.759	99.513	99.861	86.585
Änd. absolut	569	814	944	998	453	557	549	547	492	421	-357
Änd. relativ	0,50%	0,69%	0,83%	0,95%	0,48%	0,56%	0,54%	0,53%	0,49%	0,42%	-0,41%
1.A.3.b ii - Leichte Nutzfahrzeuge											
Subm. 2023	5.044	8.192	10.500	9.859	9.106	10.669	11.283	11.895	11.803	12.086	11.478
Subm. 2022	4.024	6.410	8.313	8.532	8.407	10.080	10.712	11.380	11.384	11.722	11.251
Änd. absolut	1.020	1.783	2.187	1.326	700	589	571	515	419	364	227
Änd. relativ	25,34%	27,81%	26,31%	15,54%	8,32%	5,84%	5,33%	4,52%	3,68%	3,11%	2,01%
1.A.3.b iii - schwere Nutzfahrzeuge (inkl. Busse)											
Subm. 2023	32.476	41.189	47.354	36.781	41.761	44.670	45.221	45.510	44.380	45.373	43.026
Subm. 2022	34.137	43.928	50.620	39.274	43.050	46.006	46.551	46.801	45.530	46.404	43.855
Änd. absolut	-1.661	-2.739	-3.266	-2.493	-1.289	-1.336	-1.331	-1.291	-1.150	-1.031	-829
Änd. relativ	-4,86%	-6,24%	-6,45%	-6,35%	-2,99%	-2,90%	-2,86%	-2,76%	-2,53%	-2,22%	-1,89%
1.A.3.b iv - motorisierte Zweiräder											
Subm. 2023	1.745	1.499	1.850	1.774	1.487	1.423	1.444	1.467	1.407	1.417	1.448
Subm. 2022	1.695	1.459	1.806	1.742	1.468	1.406	1.428	1.456	1.399	1.412	1.437
Änd. absolut	49,7	40,2	43,6	31,1	19,1	17,5	15,2	10,8	8,09	5,48	11,1
Änd. relativ	2,93%	2,76%	2,42%	1,79%	1,30%	1,24%	1,06%	0,74%	0,58%	0,39%	0,77%
CO_2 aus der Schmierstoff-Mitverbrennung											
Subm. 2023	186	33	6,06	5,75	6,05	5,72	5,72	5,67	5,57	5,61	5,90
Subm. 2022	183	33	5,90	5,64	5,97	5,65	5,67	5,65	5,54	5,59	5,72
Änd. absolut	3,49	0,56	0,15	0,11	0,09	0,07	0,06	0,02	0,03	0,02	0,18
Änd. relativ	1,91%	1,70%	2,62%	2,02%	1,44%	1,17%	1,00%	0,39%	0,53%	0,37%	3,14%
1.A.3.b - GESAMT-											
Subm. 2023	154.772	168.999	174.614	154.213	147.991	156.850	160.042	163.184	157.601	159.164	142.185
Subm. 2022	154.791	169.100	174.706	154.351	148.108	157.023	160.238	163.402	157.831	159.404	143.133
Änd. absolut	-19,2	-101	-91,4	-137	-117	-173	-196	-219	-230	-240	-948
Änd. relativ	-0,01%	-0,06%	-0,05%	-0,09%	-0,08%	-0,11%	-0,12%	-0,13%	-0,15%	-0,15%	-0,66%

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.

3.2.8.2.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.8.3 Transport - Schienenverkehr (1.A.3.c)

3.2.8.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 3 c, Railways**	**fossil fuels**	**CO_2**	**3.122,1**	**0,3 %**	**853,3**	**0,1 %**	**-72,7 %**
-/-	1 A 3 c, Railways		CH_4	19,7	0,0 %	0,3	0,0 %	-98,3 %
-/-	1 A 3 c, Railways		N_2O	6,8	0,0 %	1,9	0,0 %	-72,3 %

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/EEA (2019a): 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.

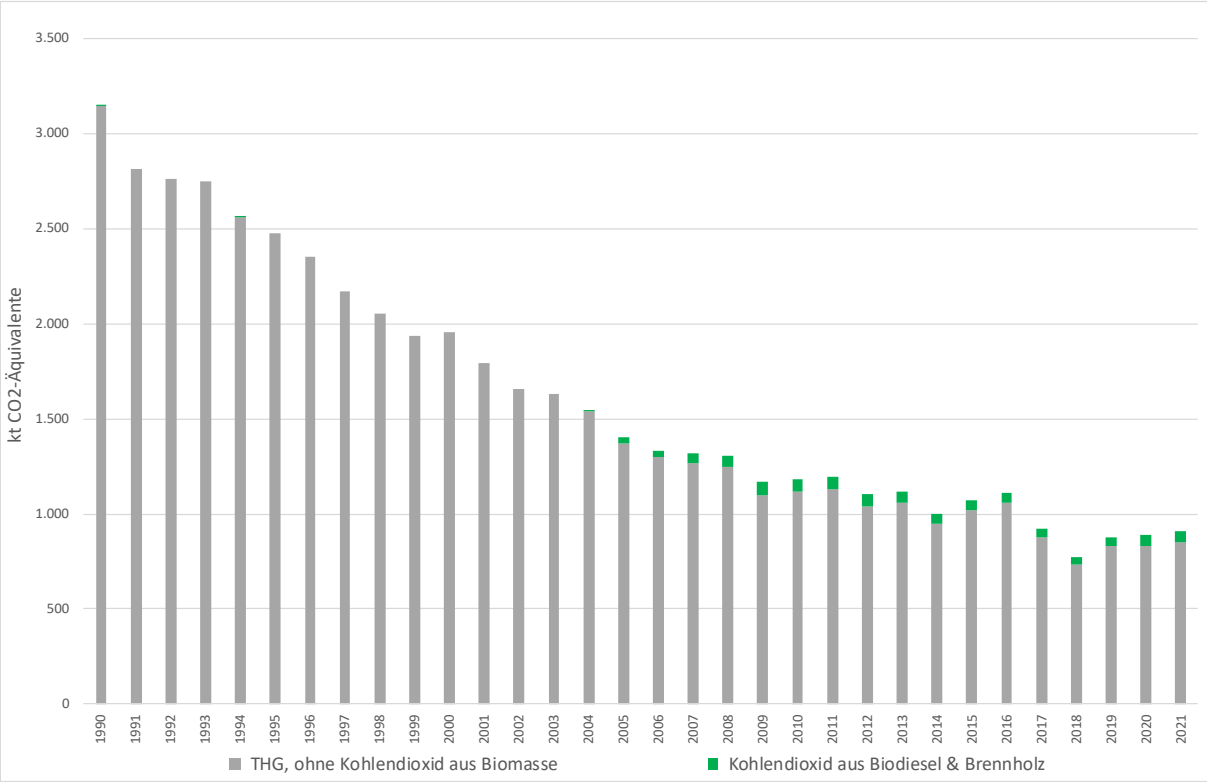
Der Schienenverkehr in Deutschland wird langfristig mit dem Ziel modernisiert, als Energieform v.a. elektrischen Strom zu nutzen. Dessen Anteil an der zur Traktion eingesetzten Energie liegt aktuell bei etwa 78 % (AGEB, 2021b). Die betriebenen Bahnstrom-Kraftwerke sind dem stationären Anteil der Stromerzeugung 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 32: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs, seit 1990



* ohne Treibhausgase aus der Erzeugung von Bahnstrom und CO_2 aus der unbeabsichtigten Mitverbrennung von Schmierstoffen

3.2.8.3.2 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 16.1.4).

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 (en2x, 2021b).[31]

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

[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 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 62: 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
Brennholz	ab 2015: Erhebung, davor: Extrapolation

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 15.7 verwiesen.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte gemäß (Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021): 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 63: für das Berichtsjahr 2020 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Diesel & Biodiesel	0,90 (4,15)	0,56 (28,60)	CH_4: gemäß Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021); N_2O: tier2 default nach EMEP/EEA (2019a)
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*

3.2.8.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.c)

Im Rahmen eines Gutachtens (Knörr et al., 2009) wurden die Unsicherheiten der in TREMOD einfließenden Aktivitätsdaten, der modellierten impliziten Emissionsfaktoren und der im Zentralen System Emissionen (ZSE) berechneten Emissionen ermittelt.

Tabelle 64: prozentuale Unsicherheiten der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren *

	AD	EF CO_2	EF CH_4	EF N_2O
Dieselkraftstoffe	±10%	±3%	±34%	-42% / 75%
Braunkohlenbriketts	±20%	±5%	-28% / 40%	-42% / 75%
Rohbraunkohle	±20%	±3%	-28% / 40%	-42% / 75%
Steinkohle	±20%	±2%	-28% / 40%	-42% / 75%
Steinkohlenkoks	±20%	±2%	-28% / 40%	-42% / 75%
Brennholz	±10%	±5%	-28% / 40%	-42% / 75%

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils

Die Aktivitätsraten-Zeitreihen für Braunkohlenbriketts, Steinkohle und Steinkohlenkoks weisen durch die Umstellung der Statistiken 1994/1995 Inkonsistenzen auf, die nicht beseitigt werden können.

3.2.8.3.4 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 65: 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 58
CH_4, N_2O	spezif. Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 3.4, Tab.	siehe Tabelle 63
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 67

Tabelle 66: 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	99.169	97.500	*87.300*	*109.000*
Rohbraunkohle	105.774	101.000	*90.900*	*115.000*
Steinkohle	93.932	94.600	*89.500*	*99.700*
Steinkohlekoks	107.846	107.000	*95.700*	*119.000*
Biodiesel	70.800		*59.800*	*84.300*
Brennholz	102.000	112.000	95.000	132.000

[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 67: 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	74.027	0,90	0,56	93.965	3,05	1,50
Belgien	74.100	4,94	6,86	NO	NO	NO
Dänemark	74.100	1,06	2,24	NO	NO	NO
Frankreich	74.837	10,6	2,95	IE	IE	IE
Italien	73.510	4,21	29,0	NO	NO	NO
Niederlande	72.454	4,26	0,56	NO	NO	NO
Spanien	74.100	4,15	0,56	NO	NO	NO
EU-27	74.651	2,95	10,8	94.991	49,8	1,10
Großbritannien	74.938	0,93	0,56	96.100	87,6	0,70

Quellen: [a] IEF für das Berichtsjahr 2021; sonst: IEF für 2020 gemäß CRF-Submission 2022

3.2.8.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.c)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Gegenüber der Submission 2022 erfolgten Rückrechnungen fast ausschließlich aufgrund revidierter Aktivitätsdaten.

Dabei wurden die zuletzt vorläufigen Energieeinsätze für Dieselkraftstoff durch finale Werte für 2020 ersetzt, was eine entsprechende Korrektur für beigemengten Biodiesel zur Folge hat.

	Diesel	Biodiesel
Submission 2023	10.782	896
Submission 2022	10.145	843
Änderung absolut	637	52,9
Änderung relativ	6,28%	6,27%

Quellen: AGEB (2021b); Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

Abgesehen von einer Korrektur für Methan aus Diesel und Biodiesel für die Jahre ab 2013 bleiben die Emissionsfaktoren im Vergleich zur Berichterstattung 2022 unverändert.

Tabelle 68: korrigierte Emissionsfaktoren für Methan aus Dieselkraftstoffen, in kg/TJ

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	1,04	1,02	0,96	0,96	0,93	0,90	0,89	0,93
Submission 2022	1,03	1,01	0,95	0,94	0,91	0,87	0,84	0,87
Änderung absolut	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,05	0,05
Änderung relativ	0,82%	1,18%	1,76%	2,03%	1,56%	4,42%	6,19%	6,04%

Quelle: Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

Aus den beschriebenen Anpassungen resultieren folgende rekalkulierte Emissionen:

Tabelle 69: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalente

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid - CO_2 [a]								
Submission 2023	1.057	946	1.022	1.057	877	734	832	830
Submission 2022	1.057	946	1.022	1.057	877	734	832	783
Änderung absolut	0	0	0	0	0	0	0	47,1
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,05%
Methan - CH_4								
Submission 2023	0,017	0,015	0,014	0,015	0,012	0,010	0,011	0,012
Submission 2022	0,017	0,014	0,014	0,015	0,012	0,010	0,011	0,011
Änderung absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Änderung relativ	0,74%	1,08%	1,67%	1,88%	1,41%	3,92%	5,56%	11,6%
Lachgas - N_2O								
Submission 2023	0,009	0,008	0,008	0,009	0,007	0,006	0,007	0,007
Submission 2022	0,009	0,008	0,008	0,009	0,007	0,006	0,007	0,007
Änderung absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,84%
Gesamt-THG [a]								
Submission 2023	1.060	949	1.025	1.059	879	736	834	833
Submission 2022	1.060	949	1.025	1.059	879	736	834	785
Änderung absolut	0	0	0	0	0	0	0	47,3
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,05%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] inkl. *fossiles* CO_2 aus der Verwendung von Biodiesel

3.2.8.3.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.8.4 Transport - Schiffsverkehr (1.A.3.d)

3.2.8.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.d)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/-	**1 A 3 d, Domestic Navigation**	**fossil fuels**	**CO2**	**2.993,4**	**0,2 %**	**1.449,9**	**0,2 %**	**-51,6 %**
-/-	1 A 3 d, Domestic Navigation		CH4	2,2	0,0 %	5,6	0,0 %	158,1 %
-/-	1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	18,6	0,0 %	10,8	0,0 %	-41,6 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	CS (Tier 2)	NS/IS/M	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)

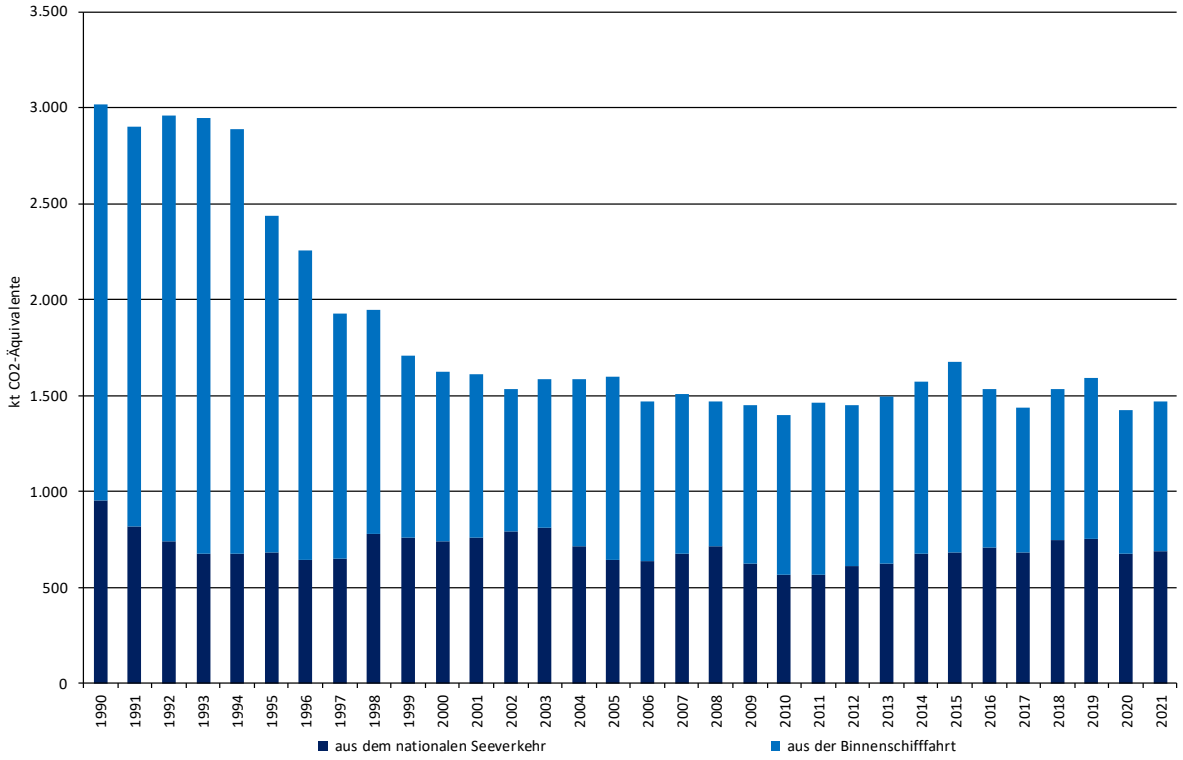
Die Kategorie *nationaler Schiffsverkehr* ist für Kohlendioxid eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe.

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 33: Entwicklung der THG- Emissionen im nationalem Schiffsverkehr seit 1990



3.2.8.4.2 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/EEA (2019a): Sectoral guidance chapters, 1.A.3.d Navigation (shipping)) zusammengeführt (Deichnik, 2022). 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, Heidt, Gores, et al., 2021). 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 en2x). 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 wurden (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 70: Quellennachweis für die verwendeten Aktivitätsdaten

Material	Quellstatistik	darin enthalten in Zeilen	
Dieselkraftstoff	NEB	77 (bis 1994) bzw. 64 (seit 1995)	„Küsten- und Binnenschifffahrt“
Schweröl	NEB	6	„Hochseebunkerungen“
LNG	bisher nicht aus NEB verfügbar; stattdessen in (Deichnik, 2022) modelliert		

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).

Mit der vorliegenden Berichterstattung wird erstmals auch der Einsatz von LNG im nationalen Seeverkehr berücksichtigt. Da dieser bisher nicht Bestandteil der nationalen Energiebilanzen ist, werden hier modellierte Aktivitätsdaten gemäß (Deichnik, 2022) genutzt.

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[32], 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 15.7 verwiesen. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 16.1.3.

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.

[32] 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.

Alle weiteren Emissionsfaktoren für den Teilsektor *Nationaler Seeverkehr* wurden Deichnik (2022) entnommen.

Für die *Binnenschifffahrt* werden CH_4-Emissionsfaktoren aus Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021) genutzt. Als Berechnungsgrundlage dienen Prüfstandmessungen sowie Daten zur benötigten Antriebsenergie differenziert nach Schiffstypen und -größen, Beladungen und Wasserstraßentypen. Hinsichtlich N_2O folgen die Emissionsfaktoren den Expertenbetrachtungen entsprechend der UBA-Studie Luftreinhaltung '88 bzw. dem Analogieschluss zu schweren Nutzfahrzeugen ohne Minderungstechnik.

Tabelle 71: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
Binnenschifffahrt			
Diesel	1,41 (-)	1,00 (-)	landesspezifischer Wert gemäß Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)
nationaler Seeverkehr			
Diesel	0,84 (-)	3,34 (2,00)	gemäß Deichnik (2022)
Schweröl	0,75 (7,00)	3,55 (2,00)	
LNG	610	2,51	
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

3.2.8.4.3 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.

Für die wie oben beschriebenen berechneten spezifischen Energieeinsätze sind Unsicherheiten von ±5% angenommen.

Die für die verwendeten Emissionsfaktoren angenommenen Unsicherheiten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 72: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren*

	CO_2	CH_4	N_2O
Diesel: Binnenschiff	±3%	±34%	-40% / +75%
Diesel: Seeschiff	±3%	±50%	-40% / +140%
Schweröl	±5%	±40%	-40% / +140%
LNG	±2%	-75% / +150%	±50%

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils

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.

3.2.8.4.4 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[33].

Tabelle 73: 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 74
CH_4, N_2O	sektorspezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 3.5.3	See: siehe Tabelle 71 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 75

Tabelle 74: Vergleich der für das Jahr 2021 verwendeten EF(CO_2) mit IPCC-Default-Werten

	Inventarwert	Default [a]	*Untergrenze*	*Obergrenze*
Dieselkraftstoff	74.027	74.100	*72.600*	*74.800*
Schweröl	77.188	77.400	*75.500*	*78.800*
LNG	55.944	56.100	*54.300*	*58.300*

[a] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie der EU(27).

Tabelle 75: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Dieselkraftstoff			Schweröl			LNG		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Deutschland	74.027	1,17	2,05	77.188	0,75	3,55	55.944	610	2,51
Belgien	73.342	2,00	1,96	IE	IE	IE			
Dänemark	74.050	1,95	1,81	78.000	2,02	1,95			
Frankreich	74.704	7,05	1,91	78.000	7,50	2,00			
Italien	74.048	6,95	1,86	77.400	7,31	1,95			
Niederlande	72.454	7,00	2,00	NO	NO	NO			
Spanien	74.100	7,00	2,00	77.400	7,00	2,00			
EU-27	74.471	3,80	4,01	76.462	6,17	2,21			
Großbritannien	75.151	0,81	3,41	77.531	1,25	3,64			

Deutschland: aktuelle IEF für das Berichtsjahr 2021; alle anderen: IEF für 2020 gemäß CRF-Submission 2021

3.2.8.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.d)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Gegenüber der Submission 2022 erfolgten Rückrechnungen sowohl aufgrund aktualisierter bzw. neu erfasster Aktivitätsdaten als auch angepasster Emissionsfaktoren. Wie oben beschrieben, wird dabei mit der Berichterstattung 2023 erstmals der Einsatz von LNG im nationalen Seeverkehr berücksichtigt, für den in (Deichnik, 2022) modellierte Mengen ab 2014 vorliegen.

Speziell für das Jahr 2020 wurden zudem Angaben aus der zuletzt noch vorläufigen Energiebilanz durch finale Daten ersetzt.

[33] AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/01/revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05.pdf (Aufruf vom 20.10.2022)

Tabelle 76: revidierte Energieeinsätze, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dieselkraftstoff											
Submission 2023	37.199	30.389	19.231	19.250	16.872	22.301	20.466	19.110	20.064	20.756	18.416
Submission 2022	37.199	30.389	19.231	19.250	16.872	22.301	20.466	19.110	20.064	20.756	18.417
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,29
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%
Schweröl											
Submission 2023	3.103	2.186	2.382	2.054	1.810	108	37,0	81,1	262	394	368
Submission 2022	3.103	2.186	2.382	2.054	1.810	108	37,0	81,1	262	394	368
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
LNG											
Submission 2023						22,0	64,4	58,8	197	153	276
Submission 2022						NR	NR	NR	NR	NR	NR
Änderung absolut						22,0	64,4	58,8	197	153	276
GESAMT-KRAFTSTOFFEINSATZ											
Submission 2023	40.303	32.575	21.613	21.304	18.682	22.431	20.567	19.250	20.524	21.303	19.060
Submission 2022	40.303	32.575	21.613	21.304	18.682	22.409	20.503	19.191	20.326	21.150	18.785
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,0	64,4	58,8	197	153	274
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,31%	0,31%	0,97%	0,72%	1,46%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Deichnik (2022) und Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

Gleichzeitig erfolgte eine Aktualisierung der aus den verwendeten Modellen abgeleiteten impliziten Emissionsfaktoren insbesondere für jüngere Jahre sowie eine die gesamte Zeitreihe betreffende Revision der Emissionsfaktoren für Kohlendioxid aus dem Einsatz von Schweröl: Hier wurden die bisher aus der stationären Nutzung von Schweröl übernommenen Faktoren durch spezifische modellierte Werte aus (Deichnik, 2022) ersetzt.

Tabelle 77: revidierte CO_2-Emissionsfaktoren aus dem Einsatz von Schweröl, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	77.241	77.241	77.241	77.241	77.241	76.445	77.188	77.188	77.188	77.188	77.188
Submission 2022	79.751	79.751	79.751	79.567	79.704	80.877	81.626	80.834	79.892	79.400	79.671
Änderung absolut	-2.510	-2.510	-2.510	-2.326	-2.463	-4.431	-4.438	-3.646	-2.704	-2.212	-2.483
Änderung relativ	-3,15%	-3,15%	-3,15%	-2,92%	-3,09%	-5,48%	-5,44%	-4,51%	-3,38%	-2,79%	-3,12%

Quelle: Deichnik (2022)

Aus den beschriebenen Korrekturen resultieren folgende rekalkulierte Emissionsmengen:

Tabelle 78: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kohlendioxid [a]											
Submission 2023	2.993	2.418	1.608	1.584	1.389	1.660	1.521	1.424	1.517	1.575	1.407
Submission 2022	3.001	2.424	1.614	1.588	1.393	1.660	1.518	1.421	1.506	1.568	1.393
Änderung absolut	-7,79	-5,49	-5,98	-4,78	-4,46	0,75	3,44	2,99	10,3	7,66	14,4
Änderung relativ	-0,26%	-0,23%	-0,37%	-0,30%	-0,32%	0,05%	0,23%	0,21%	0,69%	0,49%	1,03%
Methan											
Submission 2023	0,078	0,059	0,032	0,031	0,026	0,043	0,067	0,062	0,154	0,126	0,203
Submission 2022	0,078	0,059	0,032	0,031	0,026	0,028	0,025	0,023	0,024	0,025	0,022
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,13	0,10	0,18
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	51,6%	172%	170%	550%	410%	835%
Lachgas											
Submission 2023	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Submission 2022	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%	0,37%	0,35%	1,10%	0,83%	1,70%
GESAMT-TREIBHAUSGASE [a]											
Submission 2023	3.016	2.436	1.622	1.597	1.400	1.674	1.536	1.438	1.533	1.592	1.424
Submission 2022	3.024	2.441	1.628	1.601	1.405	1.673	1.531	1.434	1.520	1.582	1.405
Änderung absolut	-7,79	-5,49	-5,98	-4,78	-4,46	1,13	4,55	4,01	13,7	10,3	19,1
Änderung relativ	-0,26%	-0,22%	-0,37%	-0,30%	-0,32%	0,07%	0,30%	0,28%	0,90%	0,65%	1,36%

Quelle: eigene Berechnungen; [a] inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

Aufgrund der sehr hohen spezifischen Emissionsfaktoren für Methan aus dem erstmals berücksichtigten Einsatz von LNG fallen die Anpassungen für dieses Treibhausgas, beginnend in 2014, relativ gesehen besonders deutlich aus. Dies wirkt sich allerdings nur geringfügig auf die gesamten quellgruppenspezifischen THG-Emissionen aus, welche um maximal 1,36% (2020) anstiegen.

3.2.8.4.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.8.5 Transport - Übriger Verkehr (1.A.3.e)

3.2.8.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.e)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO_2	1.083,3	0,1 %	836,2	0,1 %	-22,8 %
-/-	1 A 3 e, Other Transportation		CH_4	6,0	0,0 %	4,6	0,0 %	-23,0 %
-/-	1 A 3 e, Other Transportation		N_2O	12,9	0,0 %	6,4	0,0 %	-50,0 %

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.

Aktuell werden hier lediglich Emissionen aus *Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen des Transportnetzes* berichtet. Die Emissionen aus Gasturbinen der Förderstationen werden unter 1.A.1.c berichtet, die diffusen Emissionen aus den Verdichtern unter 1.B.2.b.iii & iv.

In der chemischen Industrie eingesetzte Gasverdichter werden, gemäß der statistischen Struktur, unter 1.A.2.g - Sonstige erfasst.

3.2.8.5.2 Methodische Aspekte (1.A.3.e)

Die **Aktivitätsdaten** werden ab dem Jahr 2005 auf Basis der für den Emissionshandel gemeldeten und von der Emissionshandelsstelle aggregierten Erdgasmengen berechnet. Der für die Berechnung der Brennstoffeinsätze für die Jahre 1990 bis 2005 gewählte Ansatz wird im NIR 2022 an gleicher Stelle beschrieben.

Während die Erdgasverdichter der Förderstationen über die Energiestatistik abgefragt und damit bereits in der Kategorie 1.A.1.c enthalten sind, werden hier nur diejenigen Erdgasverdichter betrachtet, die dem Transportnetz zuzuordnen sind und so eine Doppelzählung vermieden.

Die 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 CO2-Emissionsfaktoren, verwiesen.
- Die Faktoren dür CH4 und die N2O sind dem Bericht Fichtner et al. (2011) entnommen.

Die Vorgehensweise der Studien ist in Kapitel 3.2.4.2 näher beschrieben.

3.2.8.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.e)

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

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren ist in Kapitel 3.2.4.2 beschrieben. Ergebnisse für N_2O sind dem Kapitel 3.2.4.3.2 zu entnehmen, für CH_4 dem Kapitel 3.2.4.3.3.

3.2.8.5.4 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 3.2.4.2 gelten entsprechend.

3.2.8.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.e)

Es wurden keine Rückrechnungen vorgenommen.

3.2.8.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.e)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.9 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirstschaft und Fischerei (1.A.4 stationär)

3.2.9.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 stationär)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 4 a, Commercial/Institutional**	**fossil fuels**	**CO2**	**64.110,8**	**5,0 %**	**33.306,7**	**4,4 %**	**-48,0 %**
-/T	**1 A 4 a, Commercial/Institutional**		**CH4**	**1.637,1**	**0,1 %**	**97,2**	**0,0 %**	**-94,1 %**
-/-	1 A 4 a, Commercial/Institutional		N2O	131,1	0,0 %	92,0	0,0 %	-29,9 %
L/T	**1 A 4 b, Residential**	**fossil fuels**	**CO2**	**128.635,8**	**10,0 %**	**82.296,5**	**10,8 %**	**-36,0 %**
-/T	**1 A 4 b, Residential**		**CH4**	**2.782,9**	**0,2 %**	**991,0**	**0,1 %**	**-64,4 %**
-/-/2	**1 A 4 b, Residential**		**N2O**	**683,7**	**0,1 %**	**256,4**	**0,0 %**	**-62,5 %**
L/-	**1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing**	**fossil fuels**	**CO2**	**10.172,1**	**0,8 %**	**6.082,9**	**0,8 %**	**-40,2 %**
-/-	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH4	270,2	0,0 %	190,2	0,0 %	-29,6 %
-/-	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N2O	54,2	0,0 %	60,3	0,0 %	11,4 %

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 Kategorie 1.A.4 *Sonstige* für stationäre und mobile Quellen gemeinsam (Übersicht siehe Kapitel 3.2.9.1). 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 sind die Kategorien 1.A.4.a und 1.A.4.b Hauptkategorie nach dem Trend. Die Subkategorie 1.A.4.b ist für N_2O zusätzlich nach der Methode-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*).

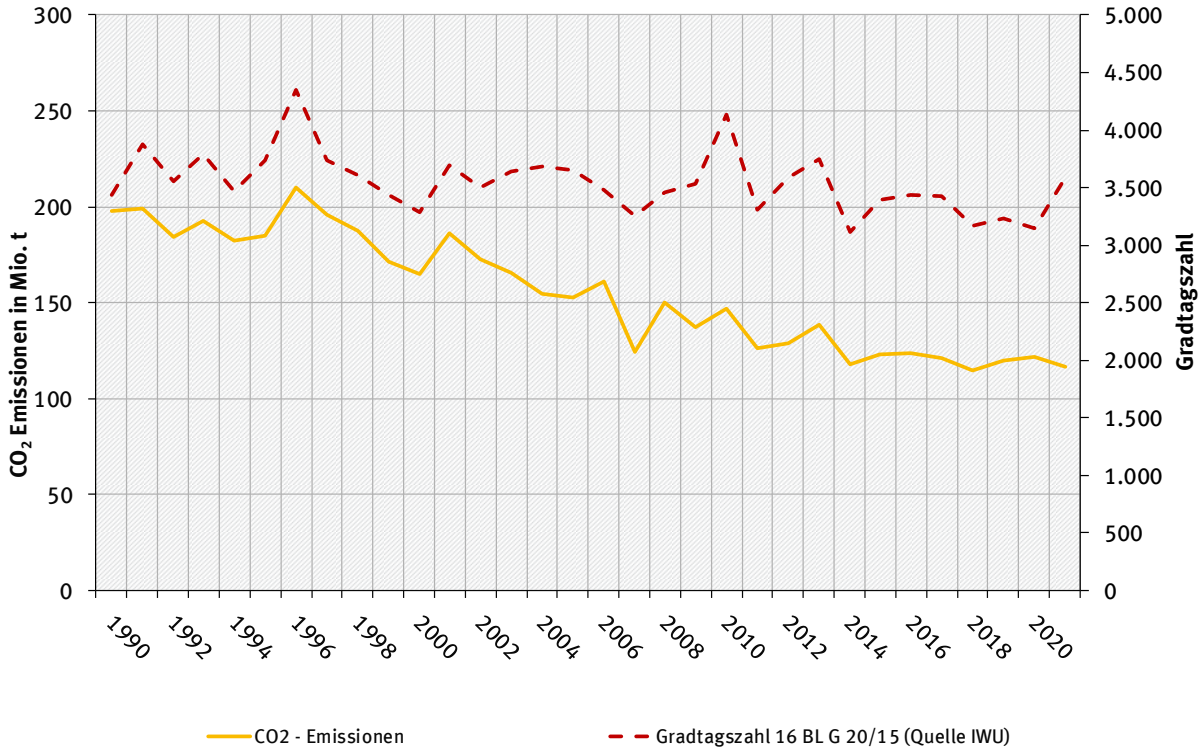
In der Subkategorie 1.A.4.ai *Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (stationär)* werden Anlagen zur Wärmeerzeugung in Kleinfeuerungsanlagen der Kleinverbraucher berichtet.

Unter der Subkategorie 1.A.4.bi werden die Emissionen aus den stationären Feuerungsanlagen der Haushalte verbucht. Die Subkategorie 1.A.4.ci umfasst den stationären Teil der Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei. Berichtet werden hier die Emissionen aus der Wärmeerzeugung in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen (1. BImSchV).

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 Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von bis zu 1 MW. Insgesamt waren im Jahr 2018 mehr als 33 Mio. Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

(Kleinverbraucher) in Deutschland installiert (ZIV, 2019[34]). Daran hatten Gasfeuerungsanlagen mit ca. 15,4 Mio. Anlagen den größten Anteil, gefolgt von den Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe (12,2 Mio. Anlagen) und Ölfeuerungsanlagen (ca. 5,5 Mio.).

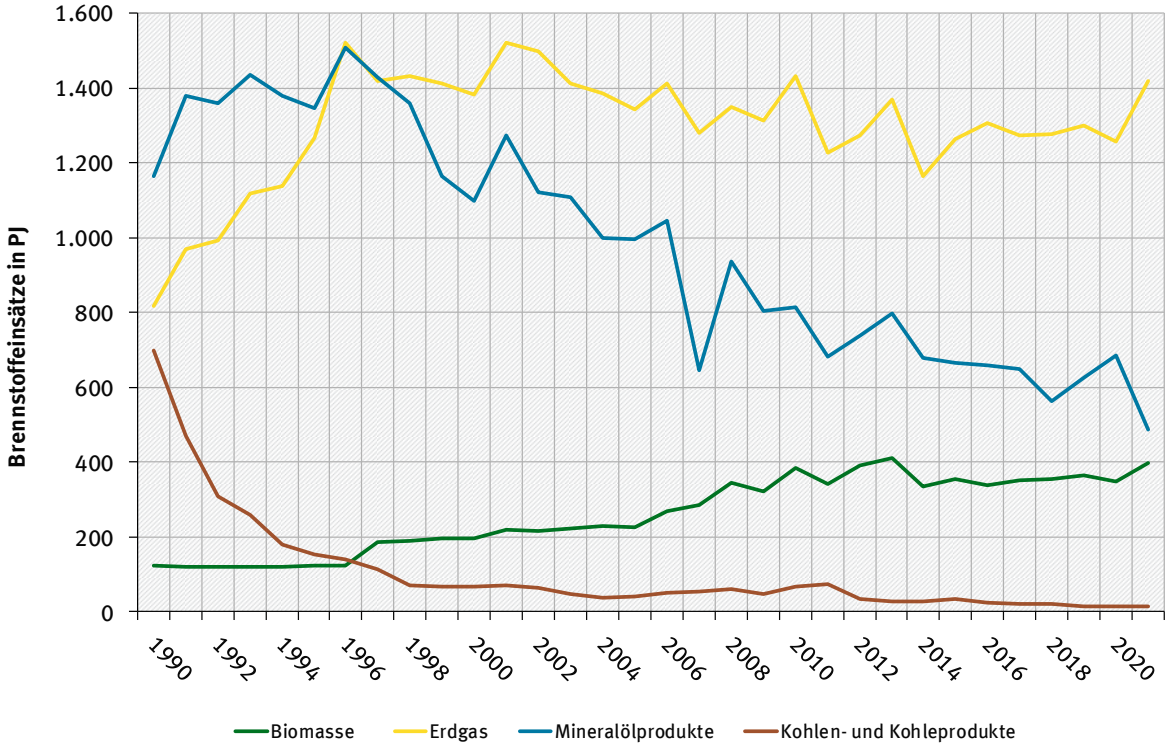
Abbildung 34: Änderung der Gesamtemission von 1.A.4 (stationär) in Abhängigkeit von der Temperatur



Der Haupttreiber für die CO_2-Emissionen in 1.A.4 ist der Energieverbrauch für Raumwärme. Daher sind Schwankungen beim Verbrauch vergleichsweise stark witterungsabhängig. Besonders beim leichten Heizöl und beim Erdgas führte dies über die Jahre hinweg zu starken Schwankungen im Energieeinsatz. Der Trend zu weniger CO_2-Emissionen kommt durch die höheren Standards bei Neubauten bzw. die Durchführung von energetischen Gebäudesanierungen bei Bestandsbauten, sowie durch den Wechsel zu CO_2-ärmeren Brennstoffen. CO_2-Emissionen, die durch den Stromverbrauch von elektrischer Wärmepumpen entstehen, werden hier nicht berichtet, sondern unter 1.A.1.a.

[34] Zentralinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) https://www.schornsteinfeger.de/erhebungen.aspx

Abbildung 35: Verlauf des Energieverbrauchs von 1.A.4 (stationär) nach 4 Brennstoffkategorien



Der Wechsel von Heizöl und Kohle zu Erdgas und Biomasse sorgt 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 von kurzfristigen Schwankungen des Energieverbrauchs, beispielweise induziert durch Preisänderungen von Energieträgern, deren Mengen - wie leichtes Heizöl - absatz- und nicht verbrauchsorientiert ermittelt werden.

3.2.9.2 Methodische Aspekte (1.A.4 stationär)

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsraten der Kategorie 1.A.4 bauen auf den durch die 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 3.2.11.2 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 seit dem NIR 2021 für die fossilen Brennstoffe Daten der AGEB verwendet, die als Zeitreihe beginnend mit dem Jahr 2010 vorliegen. Diese Daten werden mittels eines Schätzverfahrens auf Basis der Energieausgaben der Landwirtschaft laut *Statistischem Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* (BLE, 2022a) ermittelt. Die Energieträgerstruktur wird in der 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[35] wieder.

Der Holzeinsatz in den Sektoren „Private Haushalte“ und „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (GHD) stützt sich – wie auch der Verbrauch der anderen Bioenergieträger – 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.[36]

Die Ergebnisse hinsichtlich Brennholz für die privaten Haushalte basieren dabei auf den im Rahmen des „Rohstoffmonitoring Holz“[37] durchgeführten Verbrauchserhebungen. Dabei werden neben dem über den offiziellen Handel käuflich erworbenen Brennholz auch die im Wald gesammelten Mengen mit erfasst. Zusätzlich 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 reinen 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 den 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.

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO_2 Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 15.7 verfügbar.

Datengrundlage der 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 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 Brennstoffen, die in Deutschland einen relevanten Anteil am Endenergieverbrauch haben:

[35] https://ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html

[36] vgl. auch https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Arbeitsgruppe/arbeitsgruppe_ee.html

[37] https://www.kiwuh.de/projekte-und-foerderung/projekte/holzbereitstellung/rohstoffmonitoring-holz/

- 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 79 zeigt die sektoralen Emissionsfaktoren.

Tabelle 79: 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) & Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei		
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 die folgenden Jahre konstant fortgeschrieben.

3.2.9.3 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 muss 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 beim 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, das weitgehend unabhängig von der Feuerungsbauart ist) 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.

3.2.9.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 stationär)

Emissionsfaktoren: 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.

Emissionsdaten: Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Informationen zur Qualitätssicherung für die **Aktivitätsraten** sind in Kapitel 3.2.4.4 beschrieben. Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe Kapitel 15.4.1.

Zur Qualitätssicherung der Angaben zu **Emissionsfaktoren** der *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 *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas 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 wurde 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 80 dokumentiert.

Tabelle 80: 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**

Die Emissionen der Land- und Forstwirtschaft sowie Fischrei zählen ebenfalls zum Sektor Kleinverbrauch.

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 Emissionsquellen der Haushalte, des landwirtschaftlichen Verkehrs und des Fischfangs 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.

3.2.9.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 stationär)

Tabelle 81: Rückrechnungen in CRF 1.A.4 stationär

Einheit [kt]	Abweichung CO_2 absolut				Abweichung CO_2 relativ
Jahr	gas	liquid	solid	gesamt	gesamt
2020	-156,6	3.864,2	-	-0,4	3.707,2

Für das Jahr 2020 kommt es zu Rückrechnungen, da die in der Submission 2022 eingetragenen vorläufigen Werte durch die Werte aus der endgültigen Energiebilanz ersetzt wurden.

Beim Holzeinsatz kommt es zu Rückrechnungen aufgrund von Anpassungen der für die berechnung verwendeten Regressionsmodelle. Die nicht-empirischen Zwischenjahre werden durch neue empirische Datenpunkte (Stützjahre) ersetzt.

3.2.9.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 stationär)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

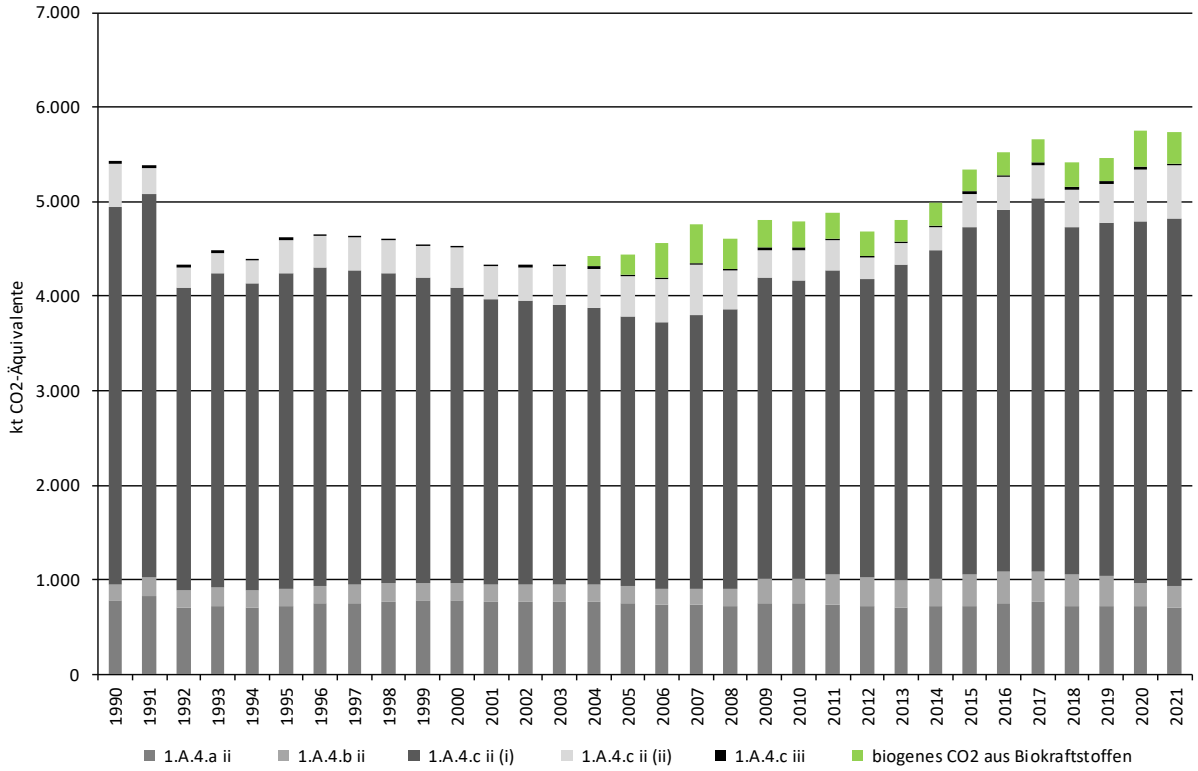
3.2.10 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 mobil)

3.2.10.1 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 3.2.9.1). 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 36: Entwicklung der THG-Emissionen der betrachteten Teilsektoren seit 1990



3.2.10.2 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.

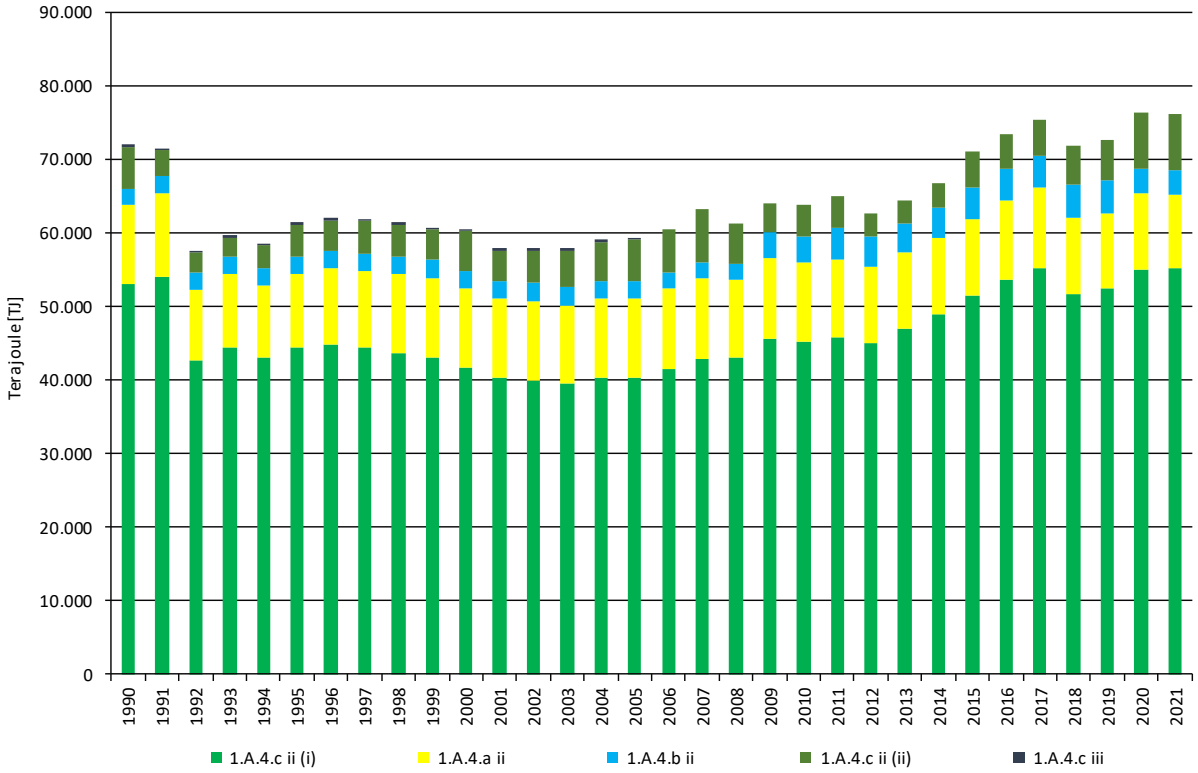
EBZ 67 – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher beinhaltet auch die Kraftstoffverbräuche des Militärs, die in BAFA (2022c) auch separat statistisch erfasst werden und somit hier abgezogen werden können (siehe Kapitel 3.2.12 zu mobilen Quellen des militärischen Bereichs). Die weitere 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, Heidt, and Bergk (2021) 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. Der hier ab 2015 zu verzeichnende Wiederanstieg der Energieeinsätze spiegelt dabei die Entwicklung der Zahl der über ihr AIS-Signal als Fangschiffe klassifizierten Fahrzeuge wider, für die Verbräuche modelliert wurden.

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 16.1.3).

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 16.1.4).

Abbildung 37: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs innerhalb der betrachteten Teilsektoren seit 1990



Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 15.7 verwiesen. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 16.1.3.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021) und Deichnik (2022) 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 82: für das Berichtsjahr 2021 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH_4	N_2O	Ursprung
1.A.4.a ii – mobile Quellen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen			
Diesel & Biodiesel	0,96 (4,15)	2,89 (28,60)	gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021)
Flüssiggas	7,10 (-)	3,45 (-)	
1.A.4.b ii – mobile Quellen der Haushalte			
Ottokraftstoff: Maschinen/Geräte, Zweitakt	200 (180)	0,46 (0,40)	
Ottokraftstoff: Maschinen/Geräte, Viertakt	25,7 (120)	1,32 (2)	gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021)
Ottokraftstoff: Freizeitboote, Zweitakt	62,5 (-)	0,29 (-)	
Ottokraftstoff: Freizeitboote, Viertakt	24,5 (-)	1,26 (-)	
1.A.4.c ii (i) – mobile Quellen der Landwirtschaft			
Diesel & Biodiesel	1,63 (4,15)	2,89 (28,6)	gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021)
1.A.4.c ii (ii) – mobile Quellen der Forstwirtschaft			
Diesel & Biodiesel	0,40 (4,15)	3,11 (28,6)	gemäß Knörr, Heidt, and Bergk (2021)
Ottokraftstoff: Zweitakt	219 (170)	0,46 (0,40)	
1.A.4.c iii – Fischerei *(hier: Hochseefischfang)*			
Diesel	0,91 (-)	3,35 (-)	gemäß Deichnik (2022)
Schweröl	NA	NA	Nutzung 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

3.2.10.3 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.

Für die wie oben beschrieben berechneten spezifischen Energieeinsätze für Diesel und Ottokraftstoffe werden dabei Unsicherheiten von ±10% angenommen, für die modellierten Mengen des in 1.A.4.a ii eingestetzten Flüssiggases dagegen ±5%.

Die für die verwendeten Emissionsfaktoren angenommenen Unsicherheiten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 83: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren*

	CO_2	CH_4	N_2O
Ottokraftstoffe	±0,4%	-28% / +40%	±50%
Diesel	±3%	±50%	-40% / +140%
Flüssiggas	±2%	±50%	±75%

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils

3.2.10.4 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 84: 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 85
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 82
CO_2, CH_4, N_2O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 86

Tabelle 85: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO_2) in kg/TJ 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]	*74.917*			
Viertakt	*74.950*			
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 2021; [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(27) ergebenden Werten, der sich aufgrund des äußerst heterogenen Quellgruppenzuschnitts jedoch schwierig gestaltet.

Tabelle 86: 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	70.964	3,53	3,12	75.139	60,0	1,16	74.027	1,63	2,89
Belgien	NO	NO	NO	72.406	37,7	1,42	74.165	2,51	16,5
Dänemark	73.163	10,5	2,86	73.000	51,7	1,16	74.099	0,94	3,54
Frankreich							74.835	0,81	28,7
Italien				73.081	190	0,47	73.510	3,98	27,9
Niederlande	71.703	2,87	1,00	73.023	46,8	0,60	72.454	1,11	0,60
Spanien	75.920	406	0,40	IE	IE	IE	73.318	0,69	3,22
EU-27				IE	IE	IE	73.927	2,35	16,3
Großbrit.				70.517	9,49	0,89	74.938	3,56	3,10
	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	74.917	219	0,46	NO	NO	NO	74.027	0,93	3,34
Belgien	72.405	316	0,44	NO	NO	NO	74.100	10,0	0,60
Dänemark	72.993	143	1,29	77.945	2,29	1,83	73.940	2,13	1,65
Frankreich	74.421	164	0,55	NO	NO	NO	74.523	7,04	1,88
Italien	73.081	143	0,85	NO	NO	NO	73.510	4,21	1,45
Niederlande	73.023	282	0,60	NO	NO	NO	72.454	7,00	2,00
Spanien	75.920	202	0,47	NO	NO	NO	74.100	7,00	2,00
EU-27	73.170	164	1,58	77.623	6,45	2,18	74.202	5,60	2,05
Großbrit.	70.209	48,7	0,34	*534.999*	10,1	26,7	75.313	1,03	3,41

Deutschland: IEF für das Berichtsjahr 2021; sonst: IEF für 2020 gemäß CRF-Submission 2022

3.2.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 mobil)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Wie oben beschrieben, sind die Aktivitätsraten der hier betrachteten Emissionsquellen Teil der in EBZ 67 angegebenen Primäraktivitätsdaten. Für das Jahr 2020 wurden hier die in Submission 2022 noch vorläufigen Daten durch finale Angaben ersetzt. Die anhand der offiziellen Beimengungsraten ermittelten Mengen eingesetzter Biokraftstoffe wurden entsprechend neu berechnet.

Hinzu kommt eine recht deutliche Korrektur der in EBZ 66 ebenfalls für 2020 angegebenen Primäraktivitätsdaten für den Energieiensatz in mobilen Verbrauchern der Haushalte.

Tabelle 87: revidierte Primäraktivitätsdaten 2020, in Terajoule

	Diesel	Benzin	Biodiesel	Bioethanol	Flüssiggas
Submission 2023	105.634	11.596	8.775	529	16.960
Submission 2022	104.580	11.106	8.687	505	20.622
Änderung absolut	1.054	490	87,4	24,9	-3.662
Änderung relativ	1,01%	4,42%	1,01%	4,94%	-17,8%

Quelle: revidierte NEB 2020 (AGEB, 2021b) und eigene Berechnungen

Gleichzeitig erfolgte eine alle Jahre betreffende marginale Anpassung der zur Aufteilung der Primäraktivitätsdaten gemäß EBZ 67 genutzten Verteilfaktoren gemäß TREMOD MM.

Unverändert bleiben lediglich die in (Deichnik, 2022) für den Fischfang modellierten Aktivitätsdaten, weshalb der Teilsektor 1.A.4.c iii in der nachfolgenden Tabelle nicht aufgeführt ist.

Die beschriebenen Korrekturen resultieren in wie folgt veränderten spezifischen Energieeinsätzen:

Tabelle 88: revidierte Energieeinsätze der Teilsektoren, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.A.4.a ii											
Submission 2023	10.627	9.951	10.899	10.796	10.836	10.376	10.799	10.884	10.339	10.269	10.361
Submission 2022	10.634	9.958	10.907	10.803	10.844	10.383	10.807	10.892	10.346	10.276	10.306
Änderung absolut	-7,31	-7,08	-8,40	-7,59	-7,71	-7,32	-7,72	-7,84	-7,16	-7,10	55,0
Änderung relativ	-0,07%	-0,07%	-0,08%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	0,53%
1.A.4.b ii											
Submission 2023	2.177	2.395	2.395	2.411	3.510	4.411	4.412	4.406	4.418	4.410	3.332
Submission 2022	2.177	2.395	2.395	2.411	3.510	4.411	4.412	4.406	4.418	4.410	4.238
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-906
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-21,4%
1.A.4.c ii (i)											
Submission 2023	53.188	44.553	41.633	40.315	45.191	51.520	53.670	55.302	51.795	52.448	55.129
Submission 2022	53.263	44.622	41.696	40.366	45.246	51.580	53.732	55.367	51.855	52.509	54.641
Änderung absolut	-75,7	-68,7	-63,4	-51,4	-54,6	-59,9	-62,4	-64,3	-59,9	-60,6	488
Änderung relativ	-0,14%	-0,15%	-0,15%	-0,13%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	0,89%
1.A.4.c ii (ii)											
Submission 2023	5.787	4.335	5.372	5.565	4.405	4.839	4.673	4.849	5.460	5.614	7.545
Submission 2022	5.788	4.336	5.375	5.569	4.409	4.843	4.677	4.853	5.465	5.619	6.930
Änderung absolut	-1,05	-1,05	-3,34	-3,95	-3,93	-4,18	-4,07	-4,25	-4,72	-4,95	615
Änderung relativ	-0,02%	-0,02%	-0,06%	-0,07%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	8,88%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf AGEB (2021b), Knörr, Heidt, and Bergk (2021)

Parallel hierzu erfolgte eine Aktualisierung der für die einzelnen mobilen Emittenten modellierten impliziten Emissionsfaktoren. Diese Aktualisierung wirkt sich auf die Emissionen aller Teilsektoren aus (siehe auch Kapitel 3.2.8.4.5).

Aus der Gesamtheit der beschriebenen Anpassungen resultieren folgende rekalkulierte Emissionsmengen:

Tabelle 89: revidierte Emissionsmengen, in Kilotonnen CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.A.4.a ii											
Submission 2023	774	717	777	745	742	724	754	760	720	715	712
Submission 2022	775	718	778	745	743	724	755	761	720	716	708
Änderung absolut	-0,55	-0,53	-0,63	-0,53	-0,54	-0,52	-0,55	-0,55	-0,50	-0,50	3,83
Änderung relativ	-0,07%	-0,07%	-0,08%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	0,54%
1.A.4.b ii											
Submission 2023	178	191	187	186	260	329	329	328	328	328	246
Submission 2022	178	191	187	186	260	329	329	328	328	328	314
Änderung absolut	0,02	0,01	0,00	0,01	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,00	-68,3
Änderung relativ	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,03%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,00%	-21,8%
1.A.4.c ii (i)											
Submission 2023	3.988	3.341	3.122	2.853	3.162	3.674	3.832	3.948	3.682	3.732	3.834
Submission 2022	3.994	3.346	3.126	2.856	3.165	3.678	3.837	3.952	3.686	3.736	3.800
Änderung absolut	-5,69	-5,16	-4,76	-3,64	-3,82	-4,27	-4,45	-4,58	-4,25	-4,30	34,0
Änderung relativ	-0,14%	-0,15%	-0,15%	-0,13%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	0,89%
1.A.4.c ii (ii)											
Submission 2023	462	349	429	431	326	357	345	357	401	412	547
Submission 2022	462	349	429	431	326	357	345	358	401	412	500
Änderung absolut	-0,14	-0,08	-0,26	-0,29	-0,28	-0,31	-0,30	-0,31	-0,34	-0,36	46,6
Änderung relativ	-0,03%	-0,02%	-0,06%	-0,07%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	9,32%
1.A.4.c iii											
Submission 2023	25,5	20,0	19,9	18,9	18,9	21,3	22,4	22,0	26,7	24,2	26,9
Submission 2022	25,6	20,1	20,0	18,9	19,0	21,3	22,4	22,0	26,7	24,2	26,9
Änderung absolut	-0,08	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änderung relativ	-0,33%	-0,32%	-0,33%	-0,30%	-0,32%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.4 - MOBILE EMITTENTEN GESAMT											
Submission 2023	5.428	4.617	4.535	4.232	4.509	5.104	5.282	5.415	5.157	5.211	5.366
Submission 2022	5.434	4.623	4.541	4.237	4.514	5.109	5.287	5.421	5.162	5.216	5.350
Änderung absolut	-6,44	-5,82	-5,71	-4,51	-4,63	-5,03	-5,24	-5,41	-5,06	-5,16	16,1
Änderung relativ	-0,12%	-0,13%	-0,13%	-0,11%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	0,30%

Quelle: eigene Berechnungen; inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.10.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.11 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.

3.2.11.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.a stationär)

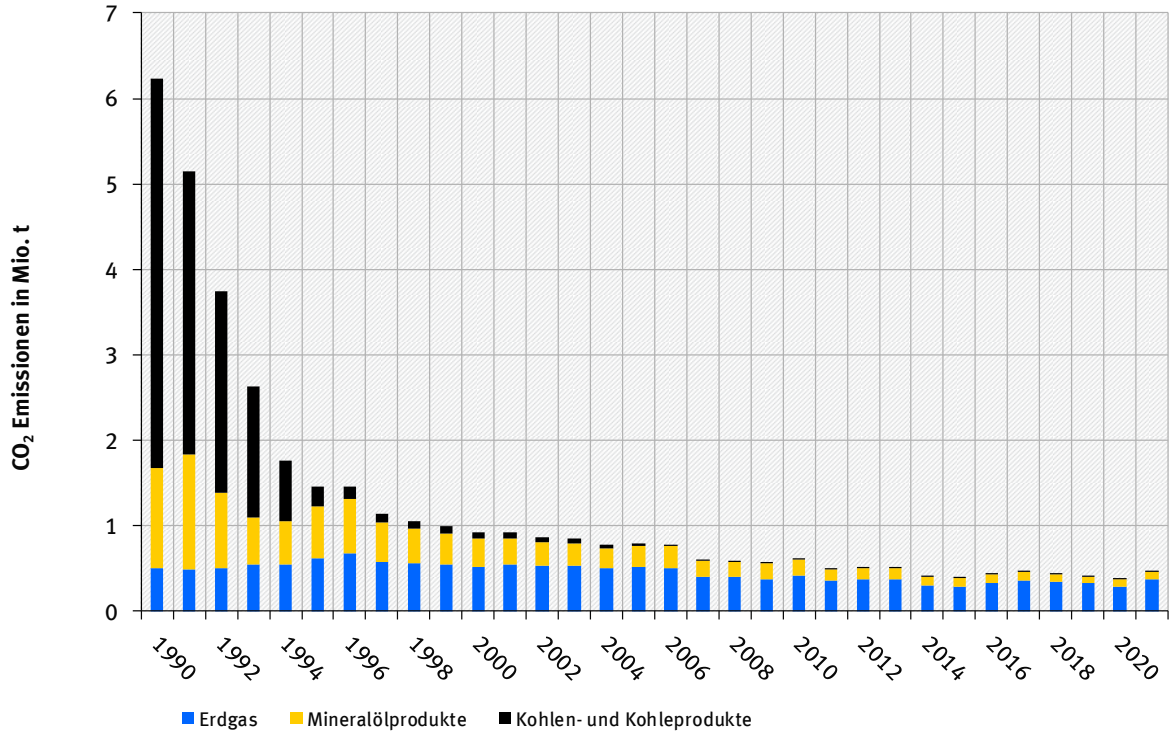
KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**1 A 5, Other: Military**	**fossil fuels**	**CO_2**	**11.764,6**	**0,9 %**	**980,3**	**0,1 %**	**-91,7 %**
-/-	1 A 5, Other: Military		CH_4	313,0	0,0 %	2,0	0,0 %	-99,4 %
-/-	1 A 5, Other: Military		N_2O	54,1	0,0 %	4,0	0,0 %	-92,6 %

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 Kategorie 1.A.5 für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. Dementsprechend ist die Kategorie 1.A.5 *Andere Bereiche* eine Hauptkategorie für CO_2 nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die folgende Abbildung zeigt den Emissionsverlauf seit 1990.

Abbildung 38: Entwicklung der CO_2-Emissionen der Kategorie 1.A.5.a



Die besonders starke Emissionsreduktion resultiert aus der Schließung vieler militärischer Dienststellen, und eineem deutlichen Trend zu weniger festen Brennstoffen.

3.2.11.2 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 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. Die Daten dafür kommen 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 15.7 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 Methode. Tabelle 90 zeigt die verwendeten sektoralen Emissionsfaktoren.

Tabelle 90: Sektorale Emissionsfaktoren für militärische Dienststellen, Bezugsjahr 2005, fortgeschrieben

	CH_4	N_2O
	[kg/TJ]	
stationäre Feuerung in Dienststellen		
Steinkohlen	2,0	4,8
Braunkohlenbriketts	242	0,37
Heizöl EL	0,03	0,56
Erdgas	0,042	0,29

3.2.11.3 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.

3.2.11.4 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.

3.2.11.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.a stationär)

Für das Berichtsjahr 2020 ergeben sich keine Rückrechnungen.

3.2.11.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.a stationär)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.12 Andere Bereiche (1.A.5.b mobil)

3.2.12.1 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)

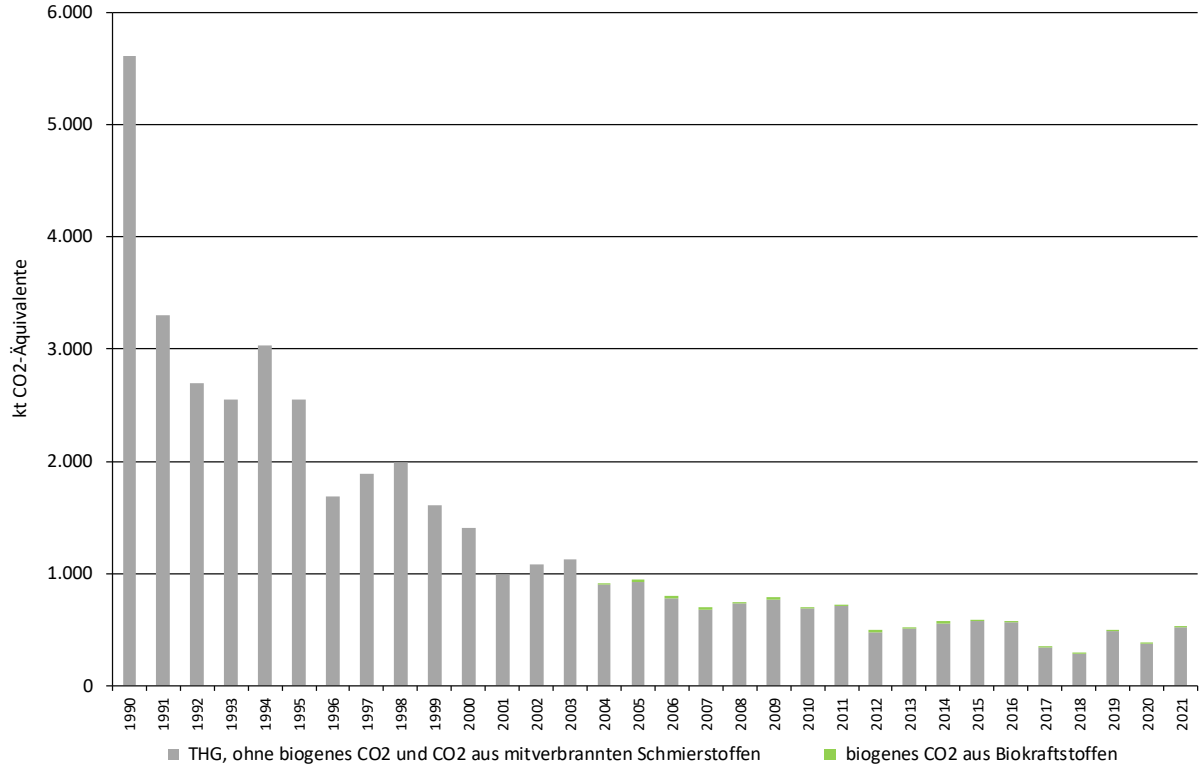
[a] für Biodiesel und Flugbenzin: Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

[b] militär. Schiffsverkehr: berechnet in Deichnik (2022)

Die Hauptkategorie-Analyse erfolgt für *1.A.5 - Andere Bereiche* übergreifend für stationäre und mobile Quellen (siehe Kapitel 3.2.11.1). 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 39: Entwicklung der THG-Emissionen aus mobilen Quellen des Militärs seit 1990



3.2.12.2 Methodische Aspekte (1.A.5.b mobil)

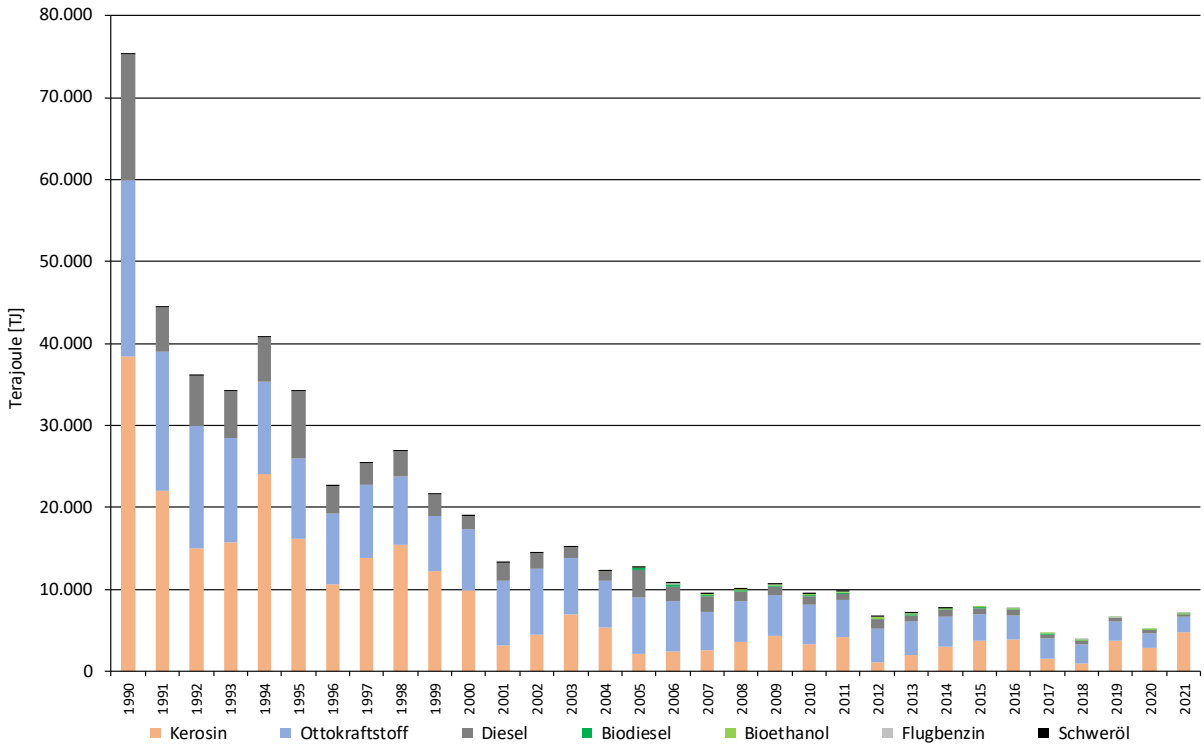
Aktivitätsraten

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 (2022c) 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 3.2.8.4.4 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 16.1.3).

Die CO_2-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 16.1.4).

Abbildung 40: Entwicklung des Kraftstoffeinsatzes seit 1990



Emissionsfaktoren

Hinsichtlich der **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 15.7 verwiesen. Es kommen sowohl landesspezifische als auch Default-Werte (Biodiesel, Flugbenzin) zum Einsatz. Weiterführende Informationen speziell zur Schmierstoffmitverbrennung finden sich in Kapitel 16.1.3.

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 (2022) 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 91: für das Berichtsjahr 2021 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: schwere Nutzfahrzeuge
Benzin & 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

	CH_4	N_2O	Ursprung
1.A.5.b iii – militärischer Seeverkehr / Marine [b]			
Diesel	0,5 (7,00)	5,24 (2,00)	gemäß Deichnik (2022)
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

3.2.12.3 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 (Deichnik) spezifische Unsicherheiten für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren des militärischen Seeverkehrs abgeleitet.

Für die wie oben beschrieben berechneten spezifischen Energieeinsätze werden Unsicherheiten von ±5% angenommen.

Die für die verwendeten Emissionsfaktoren angenommenen Unsicherheiten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 92: prozentuale Unsicherheiten der Emissionsfaktoren*

	CO_2	CH_4	N_2O
Ottokraftstoffe	±0,4%	-28% / +40%	-40% / +140%
Diesel	±3%	±50%	-40% / +140%
Kerosin	±1%	-57% / +100%	-70% / +150%
Flugbenzin	±1%	-57% / +100%	-70% / +150%
Schweröl	±5%	±50%	-40% / +140%

* untere und obere Grenze des 95%-Perzentils

3.2.12.4 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 93: 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 94
CO_2	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	für 1.A.5.b i: siehe Tabelle 94
CH_4, N_2O	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b)	für 1.A.5.b ii & iii: siehe Tabelle 90
CH_4, N_2O	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	1.A.5.b i: siehe Tabelle 90
CO_2	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 86

Tabelle 94: 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	74.950	69.300	*67.500*	*73.000*
Kerosin	73.256	71.500	*69.800*	*74.400*
Flugbenzin	71.199		*67.500*	*73.000*
Biodiesel	70.800		*59.800*	*84.300*
Bioethanol	71.607	70.800	*59.800*	*84.300*

[a] für das Berichtsjahr 2021; [b] gemäß IPCC (2006b): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

Hinsichtlich des außerhalb der Bandbreite der default-werte liegenden landesspezifischen CO_2-Emissionsfaktors für fossile Ottokraftstoffe wird auf Kapitel 3.2.8.2 verwiesen.

3.2.12.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.b mobil)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Gegenüber der Submission 2022 erfolgten Rückrechnungen zum einen, nachdem im Rahmen der Submission 2021 keine CO_2-Emissionen aus dem 2014 endenden Einsatz von Schweröl im militärischen Seeverkehr berechnet wurden. Zum anderen wurde der 2020 genutzte Emissionsfaktor für Kohlendioxid aus der Verbrennung fossiler Ottokraftstoffe in Landfahrzeugen revidiert (vgl. Kapitel 3.2.8.2).Die gleichzeitige Einführung eines landespezifischen Emissionsfaktors für Kohlendioxid aus der Verbrennung von Flugbenzin (vgl. Kapitel 3.2.8.1) hat aufgrund der äußerst geringen Einsatz-mengen keinen spürbare Einfluss auf die berichteten Emissionen.

Diese Anpassungen ziehen für sämtliche betrachteten Jahre Änderungen der berichteten Treibhausgas-Emissionen nach sich.

Tabelle 95: revidierte Emissionsdaten, in kt CO_2-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
militär. Landverkehr & mobile Maschinen											
Subm. 2023	2.733	1.327	658	745	427	293	268	218	195	193	144
Subm. 2022	2.733	1.327	658	745	427	293	268	218	195	193	144
Änd. absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,57
Änd. relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,40%
militär. Luftverkehr											
Subm. 2023	2.836	1.193	729	162	243	275	284	111	76	277	215
Subm. 2022	2.836	1.193	729	162	243	275	284	111	76	277	215
Änd. absolut	0,02	0,01	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. 2023	40,4	27,8	24,2	18,1	15,9	11,6	10,6	11,7	9,95	12,32	14,72
Subm. 2022	28,7	19,8	17,2	12,9	11,3	11,6	10,6	11,7	9,95	12,32	14,64
Änd. absolut	11,7	8,01	6,99	5,21	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
Änd. relativ	40,8%	40,4%	40,6%	40,3%	40,2%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,60%
MOBILE EMITTENTEN DES MILITÄRS GESAMT											
Subm. 2023	5.610	2.548	1.410	925	685	580	562	341	281	482	373
Subm. 2022	5.598	2.540	1.403	920	681	580	562	341	281	482	373
Änd. absolut	11,7	8,02	6,99	5,21	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,49
Änd. relativ	0,21%	0,32%	0,50%	0,57%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,13%

Quelle: eigene Berechnungen; inkl. fossiles CO_2 aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.12.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

3.2.13 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 (siehe die Kapitel 3.2.11 und 3.2.12).

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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-/2	1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	1.832,8	0,2 %	634,2	0,1 %	-65,4 %
L/T	1 B 1, Solid Fuels		CH4	28.619,8	2,2 %	159,5	0,0 %	-99,4 %

Die Kategorie Kohlenbergbau und -umwandlung ist für CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend, sowie zusätzlich für CO_2 nach der Methode-2-Analyse.

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 96: Förderung von Braunkohle, in Mio. t.

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
356,5	192,7	167,7	177,9	169,4	178,1	107,4	126,3

(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2022)

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 97: 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 98: Emissionen der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	3,9 kt	1,2 kt	1,4 kt	-64 %	17 %	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 99). 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., 2016b).

Tabelle 99: 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 (H. O. Meiners, Michael; Kerber, Vitali, 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 100: Aktivitätsraten der Veredelungsprodukte [Angaben in Tonnen]

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Braunkohlebrikett	40.045.000	5.010.829	1.819.263	1.489.922	2.024.103	1.709.000	1.285.809	1.335.743
Braunkohlenkoks	3.355.937	191.883	179.453	173.443	175.932	170.000	145.525	157.610
Braunkohlenstaub	3.791.431	2.700.110	2.678.926	2.923.620	3.632.333	4.398.000	3.799.643	3.980.807
Steinkohlenkoks	17.580.000	11.102.000	9.115.000	8.397.000	8.171.000	8.800.000	7.942.860	8.247.424

(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2022); 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 (H. 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 101: 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 Schaukohlereien. 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.

Emissionen und Trend

Tabelle 102: Emissionen der Kategorie 1.B.1.b – Umwandlung von festen Brennstoffen

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	2,4 kt	1,8 kt	1,9 kt	-21 %	-5 %	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	632 kt	634 kt	0 %	0 %	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:

$$\text{Emissionen [kt } CH_4\text{]} = \text{EF [m}^3\ CH_4\ /\text{t]} * AR_{\text{Veredelungsprodukt}} * \text{Umrechnungsfaktor [kt/10}^6\text{m}^3\text{]}$$

[38] Der Emissionsfaktor beinhaltet Stein- und Braunkohlenkoksherstellung

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 gibt es auch kleinere Rückrechnungen 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 (bis 1997)
	iv)	**Transport**	Emissionen aus Hochdruckfernleitungen sowie unterirdischer Gasspeicherung (Kavernen- und Porenspeicher)
	v)	**Verteilung**	Emissionen aus Erdgasverteilungsleitungen, Obertagespeicher,
	vi)	**Sonstiges**	Diffuse Emissionen aus Hausinstallationen in Haushalten und Kleinverbrauchern diffuse Entweichungen aus Tanks von Erdgasfahrzeugen
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
		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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 B 2 a, Oil		CO_2	477,6	0,0 %	406,3	0,1 %	-14,9 %
-/-	1 B 2 a, Oil		CH_4	270,9	0,0 %	22,0	0,0 %	-91,9 %
-/-	1 B 2 a, Oil		N_2O	0,3	0,0 %	0,2	0,0 %	-21,4 %

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 103: Anzahl der Explorationsbohrungen (Öl und Erdgas insgesamt)

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
12	17	15	23	16	18	12	8

(BVEG, 2022a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 104: 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 105: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.i

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	768 kg	768 kg	512 kg	0 %	-33 %	Die Emissionen sinken gegenüber 1990 aufgrund der geringeren Bohraktivität.
Kohlendioxid	5,76 kg	5,76 kg	3,84 kg	0 %	-33 %	
NMVOC	6.912 kg	6.912 kg	4.608 kg	0 %	-33 %	

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 & Langer, 2009) 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 106: Fördermenge Erdöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
3.606	2.959	3.113	3.573	2.516	2.414	1.907	1.804

(BVEG, 2022a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 107: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung und Aufbereitung

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO_2	93 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
CH_4	97 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	79 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 108: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.ii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	1.081 t	84 t	165 t	-85 %	96 %	Die Emissionen sinken gegenüber 1990 aufgrund fallender Produktionsmenge und verbesserter emissionsmindender Techniken im Bereich Förderung und Aufbereitung.
Kohlendioxid	460 t	194 t	194 t	-58 %	0 %	
NMVOC	108 t	33 t	203 t	88 %	610 %	

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, 2022b) veröffentlicht. Die Emissionsfaktoren werden aus den berichteten Emissionen und der Aktivitätsrate in Tabelle 106 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 109: 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	93 g/m³	$1{,}1*10^{-07}$ bis $2{,}6*10^{-04}$	0,11 – 260,00
CH_4	97 g/m³	$1{,}5*10^{-06}$ bis $6{,}0*10^{-02}$	1,50 – 60.000
NMVOC	79 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 110: Transport von im Inland produziertem Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
3.606	2.959	3.113	3.573	2.516	2.414	1.907	1.804

(BVEG, 2022a)

Tabelle 111: Transport von importiertem Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
84.043	86.063	89.280	97.474	93.270	91.275	83.049	81.403

(BAFA, 2022b)

Tabelle 112: Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
88,9	66,6	111,8	176,4	5,6	43,1	46,4	64,2

(Statistisches Bundesamt, 2022j)

Emissionsfaktoren

Tabelle 113: 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	

Emissionen und Trend

Tabelle 114: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
NMVOC	5.885 t	5.579 t	5.466 t	-7 %	-2 %	Der steigende Trend wird im Wesentlichen durch die höhere Menge an transportiertem Öl bestimmt.
CH_4	588 t	558 t	457 t	-22 %	-18%	

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“ (Jochen 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 115: 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 (2009) kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionsfaktoren für die Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten Reinigungsvorgänge mit berücksichtigen.

Aktivitätsraten

Tabelle 116: Verarbeitete Menge an Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
107.058	96.475	107.632	114.589	95.378	93.391	83.990	84.139

(en2x, 2022)

Tabelle 117: Auslastungsgrad der Raffinerien in Prozent

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
106,2	92,1	95,3	99,5	81,1	91	81,8	79,6

(en2x, 2022)

Tabelle 118: Rohöldestillationskapazität in Raffinerien, in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
100.765	104.750	112.940	115.630	117.630	103.080	105.655	105.655

(en2x, 2022)

Tabelle 119: Lagerkapazität von Tanklagern in Raffinerien und Pipelineterminals, in Mio m^3

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
27,2	28,4	24,9	24,0	22,5	22,1	20,7	20,9

(Koj, 2021)

Tabelle 120: Lagerkapazität von raffineriefernen Tanklagern inklusive Kavernen, in Mio m^3

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
15,4	15,9	18,1	17,0	15,95	15,3	15,3	14,98

(Koj, 2021)

Tabelle 121: Lagerkapazität von Kavernen, in Mio m^3

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
26,6	25,3	27,9	27,2	27,3	25,5	25,5	25,5

(Koj, 2021)

Emissionsfaktoren

Tabelle 122: 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 123: 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 124: 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 125: 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 126: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iv

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Kohlendioxid	477.166 t	393.070t	406.152 t	-15 %	3 %	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	37,1 t	37,1 t	- 99 %	0 %	
NMVOC	73.151 t	3.897 t	3.827 t	- 95 %	0 %	

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, 2009) 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, 2009) 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 (siehe Kapitel 4.3.10) 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, 2009) und (Jochen 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 127: Tankstellenbestand in Deutschland, Anzahl

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
19.317	17.957	16.324	15.187	14.744	14.531	14.459	14.429

(bft, 2022)

Tabelle 128: Verteilte Mengen an Mineralölprodukten, in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Dieselkraftstoff	21.817	26.208	28.922	28.531	32.128	36.756	35.163	34.980
Flugturbinenkraftstoff	4.584	5.455	6.939	8.049	8.465	8.550	4.725	6.129
Leichtes Heizöl	31.803	34.785	27.875	25.380	21.005	16.127	15.558	11.206
Ottokraftstoff	31.257	30.333	28.833	23.431	19.634	18.226	16.218	16.428

(BAFA, 2022a)

Emissionsfaktoren

Die nachfolgend aufgeführten Emissionsfaktoren wurden in der Studie (Jochen 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 129: 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

[39] Faktor ist ohne Minderungsmaßnahmen – siehe hierzu Tabelle 135

Tabelle 130: 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 131: 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 132: 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 133: 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

Emissionen und Trend

Tabelle 134: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.v

Gas	Gesamtemissionen 1990	2020	2021	Trend seit 1990	gegenüber Vorjahr	Erläuterung
NMVOC	87,8 kt	15,8 kt	15,6 kt	- 82 %	-1 %	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 (von Winkler, 2004).

[40] Bezugsgröße ist die gesamte Menge an Ottokraftstoffen, die in Deutschland mit dem Verkehrsmittel transportiert wurde

Pipelines verursachen als Transportmittel keine nennenswerten Emissionen. (von Winkler, 2004) Diffuse Verluste an Pipelinepumen oder -flanschen sind nach Aussagen des DGMK vernachlässigbar (Jochen Theloke et al., 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 (BMJ & BfJ, 2017a, 2017b) für Tankstellen zur Begrenzung dieser Emissionen wurden Minderungsmaßnahmen gefordert. Diese betreffen sowohl den Bereich des Umfüllens und der Lagerung von Ottokraftstoffen (BMJ & BfJ, 2017a) als auch den Bereich der Betankung von Fahrzeugen mit Ottokraftstoffen an Tankstellen (BMJ & BfJ, 2017b).

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 135).

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 135: 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 129) * (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 (Jochen 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 B 2 b, Natural Gas		CO_2	986,7	0,1 %	492,3	0,1 %	-50,1 %
L/T	**1 B 2 b, Natural Gas**		**CH_4**	**9.788,6**	**0,8 %**	**1.811,3**	**0,2 %**	**-81,5 %**

Die Kategorie 1.B.2.b „Erdgas“ ist für CH_4-Emissionen aus Erdgas eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

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 siehe 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 136: Fördermenge Erdgas in Mrd m^3

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
15,3	19,1	20,1	18,8	12,7	8,6	5,2	5,2

(BVEG, 2022a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 137: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO_2	0,1 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
CH_4	0,02 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	0,002 g/m³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 138: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.ii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	5.799 t	258 t	103 t	-98%	-60%	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	507 t	522 t	-64%	3%	
NMVOC	580 t	10 t	10 t	-98%	0%	

3.3.2.2.2 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, 2021) publiziert. Vor 1998 wurden die Emissionen mittels Default-Faktoren aus den IPCC Guidelines 2006 ermittelt. Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-3 Ansatz.

3.3.2.2.3 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 %.

3.3.2.2.4 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.

[41] WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

Tabelle 139: 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]	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.5) 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	0,2 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 3	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
SO_2, NMVOC	Tier 2, Tier 3	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).

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.

[42] WEG 2008a: Erdgas-Erdöl, Entstehung-Suche-Förderung, Hannover, 34 Seiten

Aktivitätsraten

Tabelle 140: Schwefelproduktion aus der Erdgasgewinnung in Deutschland in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
915	1.053	1.100	1.050	832	628	**353**	**382**

(BVEG, 2022a)

Die Förderung von Erdgas wird im Kapitel 3.3.2.2.2.1 in Tabelle 136 aufgelistet.

Emissionsfaktoren

Tabelle 141: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iii „Aufbereitung“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
NMVOC	0,004 kg/ Tsd. m³	Tier 3	Verbandsdaten (nur eine Produktionsstätte)
CH_4	0,06 kg/ Tsd. m³		
CO_2	340 kg/ Tsd. m³		

Emissionen und Trend

Tabelle 142: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	5.340 t	103 t	124 t	-98%	20%	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	469 kt	491 kt	-50%	-1%	
NMVOC	12 t	8 t	8 t	-33%	0%	

3.3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iii)

Die Berechnung der Emissionen erfolgte nach dem Tier-3 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).

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.

[43] WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

Tabelle 143: 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	340	$7{,}9*10^{-06}+ 3{,}6*10^{-3}+ 6{,}3*10^{-2}$	66,608
CH_4	0,06	$9{,}7*10^{-05} + 2{,}4*10^{-6}$	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 (Tabelle 144) 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.

Tabelle 144: Kohlendioxid- Emissionsfaktorvergleich (2022)

Quelle	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m³]
Österreich	269
Deutschland	340

Ein Abgleich mit weiteren Ländern konnte nicht durchgeführt werden, da in den CRF Tabellen nicht ersichtlich ist, welcher Anteil aufbereiteten Erdgases dem Sauergas zuzuordnen ist.

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 ausschließlich Stahlleitungen verwendet (Zöllner, 2014).

Aktivitätsraten

Tabelle 145: Länge der Hochdruckfernleitungen, in km

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
22.696	29.866	32.214	34.086	35.503	34.270	33.809	34.035

(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 146: Unterirdische Gasspeichervolumina in Mrd. m³

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Kavernenspeicher	2,8	4,8	6,1	6,8	9,2	14,3	15,1	14,8
Porenspeicher	5,2	8,5	12,5	12,4	12,1	9,8	8,6	8,5

(BVEG, 2022a)

[44] Addition von diffusen und Fackelemissionen sowie Rohgasventilierung (Raw-CO_2-venting)

Ein wesentlicher Emissionspfad sind Verdichter, die zur Druckaufrechterhaltung an den Leitungen. ca. aller 100 km (GASUNIE, 2014) eingesetzt werden. Hinzu kommen Absperreinrichtungen (Schieber), die sich 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.

Die Fernnetzbetreiber berichten jährlich nach dem OGMP 2.0 Berechnungsverfahren an IMEO. Diese Daten werden auch für die Emissionsberichterstattung verwendet. Eine ausführliche Analyse dieser Daten und die Ableitung des Emissionstrends der vorherigen Jahre wurde in dem Hintergrundpapier „Aktualisierung der Emissionsfaktoren für Methan für die Erdgasbereitstellung“ (Böttcher, 2022) durchgeführt.

Die NMVOC und CO_2-Emissionsfaktoren wurden mittels Splitfaktoren aus der Gaszusammensetzung nach Lubenau and Schuetz (2014) ermittelt Böttcher (2022) (Kapitel 6).

Emissionen und Trend

Die Fernnetzbetreiber haben mehrheitlich nach dem Scope 2 Ansatz gegenüber IMEO folgenden Datensatz übermittelt:

Tabelle 147: Emissionen der FNB nach OGMP (ohne Speicher)

Asset	Emissionen
Transmission grid	2.891 t
TSO - Reduction & regulating stations / Measurement stations /Valve stations / Consumer supply stations for metering and regulating	5.978 t
Compressor stations	5.376 t

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, 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.

Die Daten von 1990 bis 2020 wurden umfänglich in dem Hintergrundpapier Böttcher (2022) (Kapitel 3) analysiert.

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.

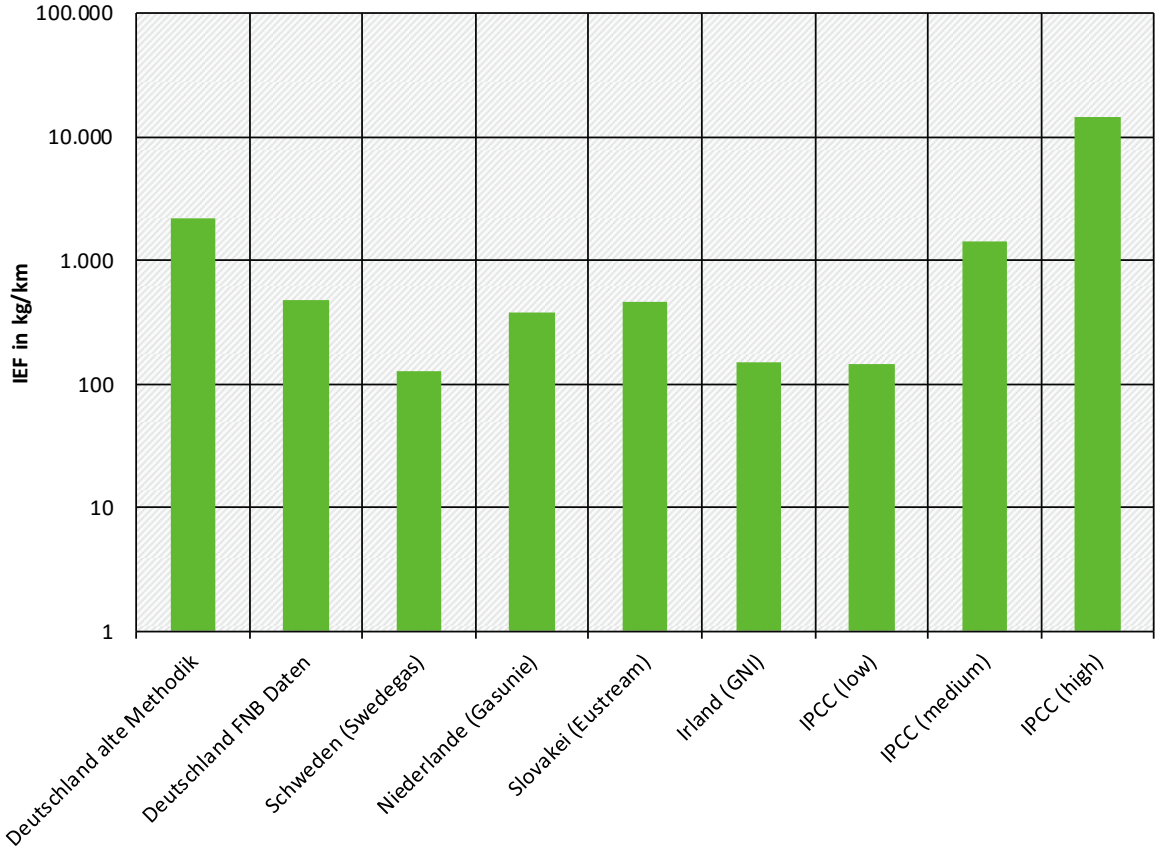
3.3.2.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iv)

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, 2022) durchgeführt. Darüber hinaus wurde bei der Umsetellung der Methodik eine umfangreiche Analyse in einem Hintergrundpapier erstellt(Böttcher, 2022). Die Daten der FNB wurden auch durch IMEO geprüft[45].

Ein Vergleich der Kategorie mit den IPCC Default Faktoren (Tabelle 4.2.8) zeigt, dass die Emissionsfaktoren für Methan innerhalb der angegebenen Bandbreite liegen. Im Vergleich mit Nachbarstaaten, die ein ähnliches Messprogramm durchgeführt haben, zeigt sich Deutschland im guten Mittelfeld (siehe Abbildung 41).

Abbildung 41: Vergleich der IEF

Logarithmische Darstellung; Bezug auf das Jahr 2020



Daten des IPCC (Volume 2 , Chapter 4 – Tabelle 4.2.8) umgerechnet von m³/a in kg/a mit Dichte von 0,717 kg/m³

[45] https://www.unep.org/resources/report/eye-methane-international-methane-emissions-observatory-2021-report

Quelle: Hintergrundpapier (Böttcher, 2022), Umweltbundesamt

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 erheblich zurückgegangen. Ursache hierfür ist zum einen die Erneuerung des Gasverteilungsnetzes. 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 148: Gasverteilungsnetz, Angaben in km

Parameter	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021
Gesamtlänge Leitungsnetz[46]	282.612	366.987	362.388	402.391	471.886	474.570	489.100	503.543	554.400

(Kiesel, 2019); (BNetzA & BKartA, 2022)

Tabelle 149: Emissionen und Trend der Kategorie 1.B.2.b.v

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Gas
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	212 kt	12 kt	8 kt	-96%	-33%	Die Emissionen sinken aufgrund der emissionsärmeren Materialien im Leitungsnetz – insbesondere durch den Austausch der Graugussrohre
NMVOC	5,15 kt	0,4 kt	0,3 kt	-96%	-33%	
Kohlendioxid	1,59 kt	0,09 kt	0,07 kt	-96%	-33%	

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 Leitungslängen aus dem Monitoringbericht (BNetzA & BKartA, 2022) und der Aufteilung nach Versorgungs- und Netzanschlussleitungen aus der GaWaS. 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 stammen aus der DVGW Studie Große et al. (2022).

Speicher

Zur Einlagerung von mittleren Erdgasmengen und zum Ausgleich kurzzeitiger Verbrauchsschwankungen eignen sich künstliche oberirdische Speicher. In Deutschland stehen 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.

[46] Die angegebenen Daten beinhalten auch die Hausanschlussleitungen

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). Zwei sind im Bau befindlich (Böttcher (2022), Kap. 8.2). 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)

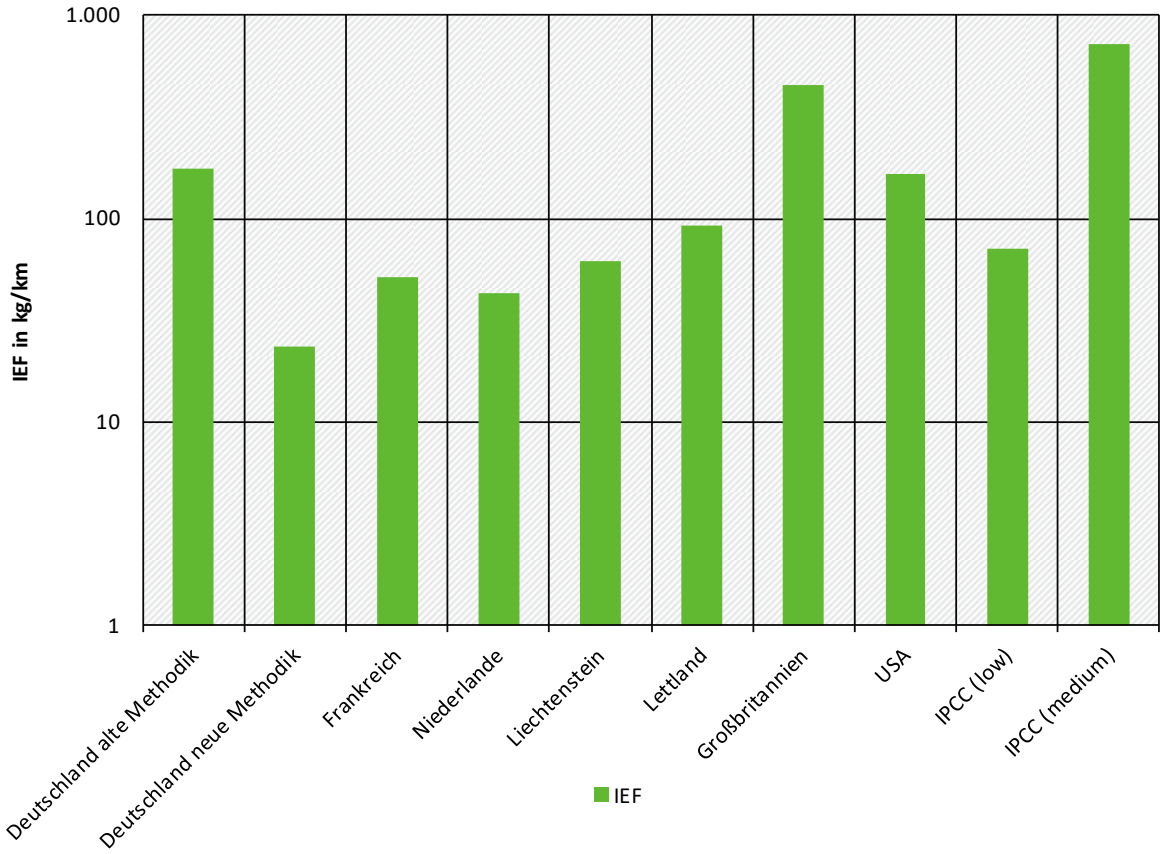
Die Unsicherheiten in der Kategorie werden mit 44 bis 112 % angegeben (Große et al., 2022)(Kap. 5.2.4).

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, 2022) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit anderen Ländern wurde in Böttcher (2022) (Kapitel 4.3) durchgeführt. Es zeigt ein insgesamt recht niedriger impliziter Emissionswert (Abbildung 42). Es muss hier allerdings berücksichtigt werden, dass Deutschland die sogenannten post-meter-emissions unter 1.B.2.b.vi separat ausweist. Wenn man diese mit einbezieht, liegt der IEF im Bereich der Nachbarländer.

Abbildung 42: Vergleich der IEF



Logarithmische Darstellung; Bezug auf das Jahr 2020 Daten des IPCC (Volume 2, Chapter 4 – Tabelle 4.2.8) umgerechnet von m³/a in kg/a mit Dichte von 0,717 kg/m³]

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

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 bei Haushalten und Kleinverbrauchern, Start-Stopp-Vorgängen von Erdgasendgeräten sowie Emissionen von Erdgasfahrzeugen.

Aktivitätsraten

Tabelle 150: Anzahl Erdgasfahrzeuge in Deutschland

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Anzahl	0	0	7.500	28.500	90.000	97.804	100.807	101.688

Quelle: gas.info

Aktivitätsraten

Tabelle 151: Verwendete Aktivitätsraten für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Anzahl der Gaszähler in Haushalten und Kleinverbrauchern [Mio.]	10,3	12,7	12,8	13,3	12,9	13,0	13,1	13,1

eigene Erhebung

Emissionen und Trend

Tabelle 152: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.vi

Gas	Gesamtemissionen			Trend	
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr
Methan	60,4 kt	42,4 kt	41,5 kt	-31%	-2%
NMVOC	1,5 kt	1,5 kt	1,5 kt	-4%	-1%
Kohlendioxid	0,3 kt	0,3 kt	0,3 kt	-4%	-1%

3.3.2.2.6.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.vi)

Haushalte und Kleinverbraucher

In einer bisher unveröffentlichten Untersuchung des GWI im Auftrag des DVGW (Brandes, 2022) wurden Emissionen von Erdgasendgeräten untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die diffusen Emissionen mit 2.019 t Methan pro Jahr, die Start-Stopp-Emissionen mit 39.064 t Methan pro Jahr auftreten. Während also die diffusen Emissionen in den bisherigen Berichterstattungsrunden überschätzt wurden, wurden die Start-Stopp-Emissionen unterschätzt. Um eine Unterschätzung zu vermeiden, werden sämtliche Start-Stopp-Emissionen unter 1.B.2.b.v berichtet.

Laut DVGW Arbeitsblatt G 600 (Schuhmann, 2018) liegt bei Hausinstallationen eine uneingeschränkte Gebrauchsfähigkeit bei einem Leckagevolumen von 0-1 l/h vor. Wird bei der Dichtheitsprüfung ein höherer Leckagewert festgestellt, muss die Installation zeitnah instandgesetzt werden. Umgerechnet liegen somit die maximalen Emissionen zwischen 0 und 8,76 m^3_{Erdgas}/a bzw. 6,3 kg_{Erdgas}/a. Um konservativ zu bleiben wird dieser Wert für 1990 angesetzt. Dafür werden die 8,76 m^3_{Erdgas}/a noch mit 0,9 multipliziert um nur den Methananteil zu berücksichtigen. Der so ermittelte Wert von 7,9 m^3_{CH4}/a liegt jedoch deutlich über den bisher verwendeten von 1,8 m^3_{CH4}/a.

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.

3.3.2.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.vi)

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), Kap. 2.7.1.6).

3.3.2.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.vi)

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, 2022) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit anderen Ländern wurde in Böttcher (2022) (Kap. 5.6) durchgeführt. Demnach gibt es in Großbritannen ähnliche Untersuchungen, jedoch liegen die Emissionen eine Größenordnung unter den deutschen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch Betzenbichler et al. (2016b). 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 153: Vergleich mit IPCC Default Werten

Einrichtung	CS-Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 – Tabelle 4.2.8
Anwenderverluste	4,4 m³/No.	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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		CO_2	543,5	0,1 %	298,2	0,0 %	-45,1 %
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		CH_4	1,8	0,0 %	0,6	0,0 %	-67,8 %
-/-/2	**1 B 2 c, Venting and Flaring**		**N_2O**	**1,7**	**0,0 %**	**0,6**	**0,0 %**	**-65,4 %**

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 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.

Die Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“ ist für CO_2 eine Hauptkategorie nach der Methode-2-Analyse.

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 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 154: Verarbeitete Rohölmenge, in Mio. t

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2020	2021
107	96	108	115	95	93	87,7	84,0	84,1

(en2x, 2021a), (en2x, 2022)

Tabelle 155: abgefackeltes Erdgas, in Mio. m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2020	2021
36	33	36	19	12	10	11	14	11

(BVEG, 2021), (BVEG, 2022a)

Emissionsfaktoren

Abfackelungsaktivitäten finden auf Förderanlagen und in Raffinerien statt. In Raffinerien werden diese differenziert nach Regelbetrieb und nach Störungs- bzw. An-/Abfahrbetrieb.

Tabelle 156: 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 157: 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 (Jochen Theloke et al., 2013). Um konservativ zu bleiben, wurde zur Berechnung der IPCC Defaultwert angenommen.

Tabelle 158: 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 159: 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 (Jochen Theloke et al., 2013) und 2019 für CH_4, N_2O, CO, NMVOC, NO_x und SO_2 auf Basis von Bender and von Müller (2019) aktualisiert.

Emissionen und Trend

Tabelle 160: Emissionen der Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2020	2021	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	66 t	22 t	21 t	- 68 %	- 4 %	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[47]. Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade.
Kohlendioxid	544 kt	311 kt	298 kt	-45 %	-4 %	
NMVOC	522 t	334 t	256 t	-51 %	- 23 %	
Lachgas	6,5 t	2,3 t	2,3 t	- 64 %	- 2 %	

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 155) 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 J. Theloke et al. (2013).

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

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 (Jochen 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.

Im Centralised Review 2022 – Nummer E14 - wurde angemerkt, dass in den CRF Tabellen IE für den Bereich „combined“ angegeben wird, obwohl im NIR Aktivitätsraten aufgeführt sind. Da sich die ermittelten Emissionen auf unterschiedliche Aktivitätsraten beziehen, kann keine

[47] WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

Aktivitätsrate angegeben werden, da sonst der IEF zu Misinterpretationen führt. Die Emissionsfaktoren sind in Tabelle 161 aufgeführt.

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 161: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas und Einrichtung	Verwendeter CS Emissionsfaktor[48] 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 Wärme (in der Regel über Wärmepumpen) 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-/Fernkältenetze mit Wärme und Kälte, indem der Wärmeinhalt des Thermalwasserstroms meist 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 2021 waren 42 Tiefengeothermieanlagen in Betrieb. Diese haben zusammen 53 MW elektrische und 380 MW thermische Leistung.

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“ (Houghton 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

[48] Für Raffinerien ermittelt aus Mittelwert zwischen Normal- und Störungsbetrieb

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 Jochen 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 18) 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 Inventarverbesserungen im Bereich 1.B.2.b.iii-vi, die zum Teil erhebliche Rückrechnungen mitsich führten.

Tabelle 162: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 – NMVOC-Emissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Submission 2023	176,40	118,10	77,42	47,16	37,46	32,04	28,12
Submission 2022	175,43	116,25	75,27	44,99	35,69	32,25	30,39
Differenz	0,97	1,85	2,15	2,17	1,76	-0,21	-2,27

Tabelle 163: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Methanemissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Submission 2023	359,33	377,55	283,49	238,48	193,67	131,39	72,18
Submission 2022	329,64	342,72	248,60	216,50	193,55	191,21	191,30
Differenz	29,69	34,83	34,89	21,98	0,12	-59,82	-119,12

Tabelle 164: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Kohlendioxidemissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Submission 2023	2.007,85	2.127,01	2.213,85	2.212,85	1.898,13	1.672,12	1.174,51
Submission 2022	2.007,65	2.126,56	2.213,20	2.212,29	1.897,71	1.672,21	1.185,39
Differenz	0,19	0,44	0,65	0,56	0,42	-0,09	-10,88

3.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.B.2 alle)

Derzeit laufen in Deutschland weitere Messkampagnen zur Ermittlung von Emissionen in den Erdgasnetzen. Diese Messungen orientieren sich an den Leitlinien der „Oil and Gas Methane Partnership (OGMP)“ unter dem Dach der Vereinten Nationen. Es ist angedacht, diese Erkenntnisse in den kommenden Berichterstattungen einzubauen.

Bei den Endanwenderemissionen (1.B.2.b.vi) gibt es einige Überlappungsbereiche mit Emissionen aus 1.A.1., 1.A.2 und 1.A.4. Es muss daher geprüft werden, ob es hier zu einer Doppelzählung kommt.Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

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

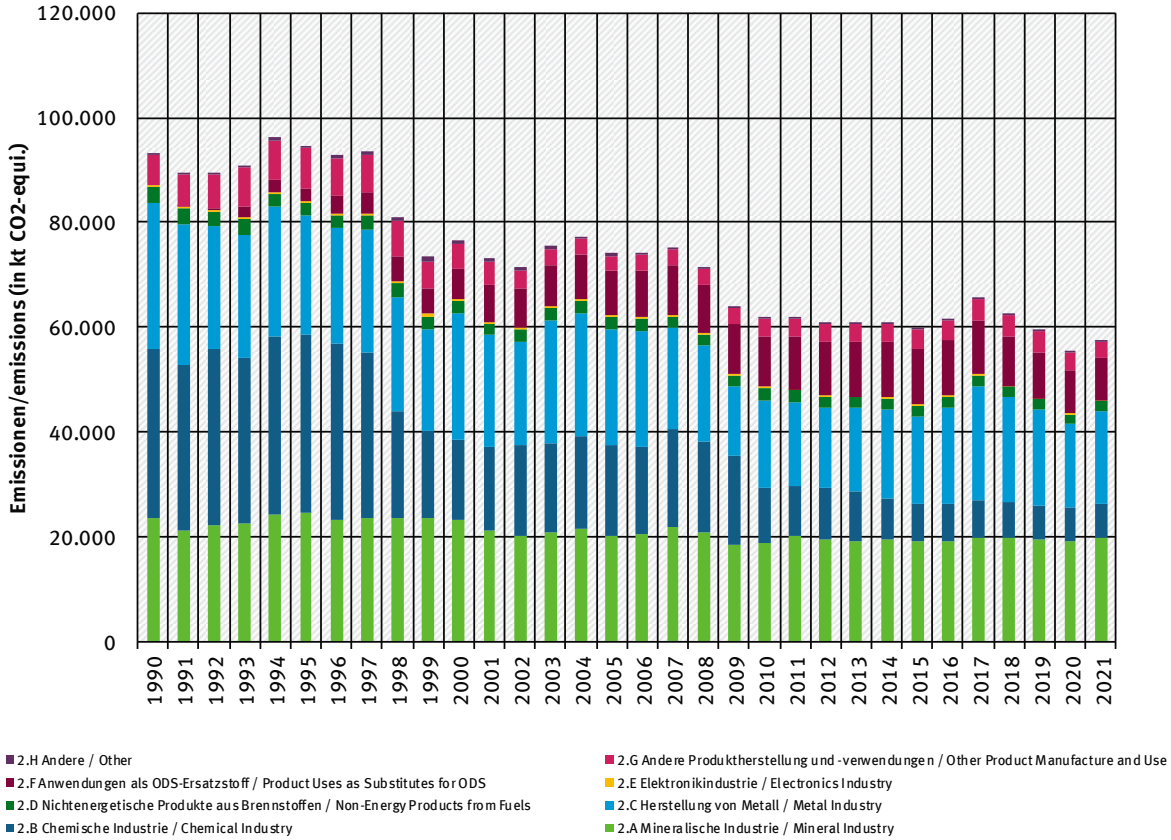
Nach Rückmeldung des Betreibers der einzigen hierzulande existierenden Pilotanlage wurden zu Versuchszwecken bisher ca. 67 kt CO_2 verpresst (GFZ, 2018). Die messtechnische Überwachung der Anlage hat seitdem keine Undichtigkeiten nachgewiesen. Um dennoch konservativ zu berichten, wurden die eingespeicherten 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.

4 Industrieprozesse (CRF Sektor 2)

4.1 Übersicht (CRF Sektor 2)

Abbildung 43: 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	2 A 1, Cement Production		CO_2	15.297,3	1,2 %	13.640,2	1,8 %	-10,8 %

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 165 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, 2022) betrug die Klinkerproduktion im Jahr 2021 in Deutschland 25.232 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 13.640 kt CO_2 im Jahr 2021.

Tabelle 165: Produktion und rohstoffbedingte CO_2-Emissionen der deutschen Zementindustrie

Jahr	Klinkerproduktion + ausgeschleuster Bypassstaub[49] [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

[49] 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[49] [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
2021	25.736	0,53	13.640	35.622

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), (DEhSt, 2022)

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 165 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 zweier Forschungsprojekte (Ruppert, 2009), (Schäfer et al., 2022) und für die anderen Jahre 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 165 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 +/– 1 % geschätzt. Dies wurde durch die Erhebungen im Rahmen eines Forschungsprojektes bestätigt .

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.

Der Vergleich mit den prozessbedingten Emissionen im Emissionshandel ergab eine sehr gute Übereinstimmung.

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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	2 A 2, Lime Production		CO_2	5.986,6	0,5 %	4.524,9	0,6 %	-24,4 %

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).

Tabelle 166: 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
2021	5,809	4,333	0,221	0,192

Quelle: Produktion: Basisdaten aus (BVKalk, 2022) (BVKalk, 2021)ergänzt durch UBA

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 sehr 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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

4.2.3 Mineralische Industrie: Glas (2.A.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 A 3, Glass Production		CO_2	780,5	0,1 %	916,9	0,1 %	17,5 %

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 (Bundesverband Glasindustrie e.V., 2022). 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 167: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissonen seit 1990, IEF über alle Glasarten

Jahr	Aktivitätsrate [t]	prozessbedingte CO2-Emissionen [t]	IEF über alle Glasarten [t CO2/ 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	7.394.700	856.430	0,116
2021	7.803.000	916.911	0,118

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 zwischenzeitlich 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 2021 wurden folgende Aktivitätsraten ermittelt:

Tabelle 168: Glas: Aktivitätsraten der einzelnen Branchensektoren (Glassorten)

Branchensektor	Aktivitätsrate 2021 [t]
Behälterglas	3.973.800
Flachglas	2.125.700
Glasfasern und -wolle	373.100
Spezialglas	337.000
Steinwolle	605.100
Wirtschaftsglas	44.200

Quelle: (Bundesverband Glasindustrie e.V., 2022)

Es werden folgende branchenspezifische Scherbenanteile angenommen:

Tabelle 169: 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 (Bundesverband Glasindustrie e.V., 2022)

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 (Bundesverband Glasindustrie e.V., 2022). 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 170: 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 73 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 0,4% über 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)

Rückrechnungen haben sich im Jahr 2020 wegen geringfügiger Korrekturen einzelner Produktionszahlen ergeben.

4.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.3 Glas)

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

4.2.4 Mineralische Industrie: Weiterer Einsatz von Karbonaten (2.A.4)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 A 4, Other Process Uses of Carbonates	CO_2	1.458,0	0,1 %	816,4	0,1 %	-44,0 %	1.458,0

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 171) umfassen die Aktivitätsraten sowie die prozessbedingten CO_2-Emissionen der gesamten Keramikindustrie in Deutschland seit 1990[50]. Über diese Aktivitätsraten werden auch die Nicht-CO_2-Emissionen (NO_X, NMVOC, SO_2, etc.) der gesamten keramischen Industrie berechnet.

Tabelle 171: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO_2-Emissionen der keramischen Industrie (CRF 2.A.4.a), seit 1990

	Aktivitätsrate [kt]		prozessbedingte CO_2-Emissionen [kt][51]
	Gesamte Keramikproduktion	CO_2-relevante Keramikproduktion[51]	
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

[50] Blähton ist hier nicht berücksichtigt da keine Daten (Produktionsmengen/ Aktivitätsraten) verfügbar

[51] 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][51]
	Gesamte Keramikproduktion	CO_2-relevante Keramikproduktion[51]	
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
2021	12.245	10.828	581

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 (Statistisches Bundesamt, 2021b). 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 veröffentlicht. Dabei wurden die davor verwendeten Umrechnungsfaktoren 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[52]. 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 Produktgruppen (Rohstoffzusammensetzung) ergänzt worden (Expertenschätzung)[53]. Als

Ergebnis dieses schrittweisen Bewertens wurden Feuerfestprodukte, Ziergegenstände, technische Keramiken und Schleifmittel von den CO_2-Berechnungen ausgeschlossen.Tabelle 172 enthält die für die unterschiedlichen Produktgruppen ermittelten CO_2- Emissionsfaktoren.

Tabelle 172: 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 171). Für 2018 kann damit ein IEF von 0,053 $t_{CO2}/t_{Produkt}$ errechnet werden[54]. 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 172 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 172 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.

[54] 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)

Für den vorliegenden Bericht waren keine Rückrechnungen erforderlich.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 173: 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
2010	528.885	219,5
2011	587.144	243,7
2012	516.444	214,3
2013	703.049	291,8
2014	694.907	288,4
2015	665.206	276,1
2016	644.664	267,5
2017	712.518	295,7
2018	706.461	293,2
2019	718.245	298,1
2020	613.470	254,6
2021	568.343	235,9

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.). 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 von Soda erfolgt, womit die Herstellungsangaben seit 2013 verbessert werden konnten. Die Verbesserung der rechnerischen Exportangaben dauert 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.

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)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Es waren Rekalkulationen notwendig, die zu folgenden höheren Angaben seit dem Jahr 2013 führten:

Emissions in kt CO_2	Submission 2022	Submission 2023	Change
2013	245,3	291,8	46,4
2014	214,5	288,4	73,9
2015	195,2	276,1	80,9
2016	205,7	267,5	61,8
2017	205,4	295,7	90,3
2018	190,6	293,2	102,6
2019	141,5	298,1	156,6
2020	95,5	254,6	159,1

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 18 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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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“ (Simone 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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/-	2 B 1, Ammonia Production		CO_2	6.025,0	0,5 %	4.012,0	0,5 %	-33,4 %

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.

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. Mit der Tier 2 und Tier 3 Methode erfüllen die erhobenen Daten über die gesamte Zeitreihe die Anforderungen an eine Hauptkategorie.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/T	2 B 2, Nitric Acid Production		N_2O	2.896,8	0,2 %	344,3	0,1 %	-88,1 %

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 dem 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:

$$4\ NH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ N_2 + 6\ H_2O$$

$$\mathbf{4\ NH_3 + 4\ O_2 \rightarrow 2\ N_2O + 6\ H_2O}$$

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 übermittelten 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 zweite Verpflichtungsperiode und die 2006 IPCC Guidelines angepasst. Das UBA erhält seitdem 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.

Für das Jahr 2021 konnte ein Produzent mit einer geringen Emissionsmenge die Emissionsmessungen nicht vollständig durchführen. Aus diesem Grund wurden für diese Anlage

die Emissionen von 2020 fortgeschrieben. Es ist geplant dies mit der nächsten Submission zu korrigieren.

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)

Die Emissionsdaten für den einen kleinen Produzenten, dessen Messungen in 2021 nicht vollständig durchgeführt werden konnten, sollen in der nächsten Submission korrigiert werden.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	2 B 3, Adipic Acid Production		N_2O	16.074,9	1,3 %	66,3	0,0 %	-99,6 %

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[55] 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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

[55] siehe: https://www.jicdm.dehst.de/promechg/pages/project1.aspx

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.

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[56] 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 9,5 kt CO_2-Äquivalente (AR5) 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 15,9 kt CO_2-Äquivalente (AR5). 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

[56] 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)

Zusammenstellung aller als ‚not estimated' erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 18 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.

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 (jährlich - 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 B 5, Carbide Production		CO_2	443,2	0,0 %	5,9	0,0 %	-98,7 %

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 18 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 B 7, Soda Ash Production		CO_2	615,5	0,1 %	457,8	0,1 %	-25,6 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 1/2	NS/PS	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[57] einsetzen[58]. 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 mittels zweier Datenlieferanten erhoben.

Vom *Statistischen Bundesamt* liegen lange Zeitreihen vor: Die Zeitspanne 1990 bis 1994 ergibt sich aus der Kombination von Angaben ehemals Alter Bundesländer und der Überführung der Daten zu Neuen Bundesländern in die gemeinsame Erfassung für Deutschland. Von 1995 bis

[57] Ammoniak-Soda-Verfahren nach Ernst Solvay

[58] Weitere, von der Produktionsmenge weniger bedeutendere Verfahren sind nicht betrachtet, weil Kohlendioxid aus anderen Quellen als Kalkstein zum Einsatz kommt.

2008 wurden die Kategorien *leichtes Soda* und *schweres Soda* getrennt ausgewiesen. Seit 2009 wird nur noch eine Position ausgewiesen (Meldenummer 2013 43 100). Es wird nur der „zum Absatz bestimmte" Teil berücksichtigt. Auf diese Weise wird eine Doppelzählung vermieden, da schweres Soda aus leichtem Soda hergestellt wird.

Wegen eines kaum erklärlichen Trends in den Daten des Statistischen Bundesamts seit dem Jahr 2015 wurde der Kontakt zu den Herstellern gesucht und im Jahre 2021 Kooperations-vereinbarungen mit beiden Herstellern (für alle drei Produktionsstätten, siehe auch 1.2.1.4) geschlossen. Im UBA werden diese Daten zusammengeführt und es wurde entschieden, dass die Zeitreihe ab 2013 nun aus den Herstellerangaben gespeist wird (Überlappung zum Vergleich 2013 bis 2021).

Da es nur zwei Hersteller in Deutschland gibt, muss die Produktionsmenge aus beiden Datenquellen vertraulich behandelt werden.

Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor wird berechnet aus den Kohlendioxidemissionen entsprechend der ETS-CO_2-Bilanz und aus der Produktionsmenge. Da die Produktionsmenge 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 insbesondere seit der getrennten Ausweisung und ab dem Jahr 2015.

Die Unsicherheit der Angaben von den Herstellern steht im Einklang mit Meldungen im Rahmen des EU-ETS und wird deshalb auf -1/+1 Prozent angesetzt.

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 waren für die gesamte Zeitreihe notwendig. Einerseits haben sich die Aktivitätsdaten seit 2013 geändert. Zusätzlich musste die Herleitung des Emissionsfaktors neu erfolgen, weil diese erstmals für das Jahr 2013 erfolgte und wegen der Änderungen bei den Produktionszahlen erneuert werden musste (auf die gesamte Zeitreihe angewendet).

In Summe verringerten sich die Emissionen für 1990 um ca. 52 kt Kohlendioxid und erhöhten sich für 2020 um ca. 89 kt Kohlendioxid.

4.3.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.7)

Verbesserungen sind nicht 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

4.3.8 Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO2	974,0	0,1 %	861,6	0,1 %	-11,5 %
-/-	2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH4	373,7	0,0 %	570,0	0,1 %	52,5 %

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[59].

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.

[59] Chemiewirtschaft in Zahlen 2016, Verband der Chemischen Industrie e.V. (2017): https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/chemiewirtschaft-in-zahlen.jsp

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).

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[60]) 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.

[60] Webseite: http://www.petrochemistry.eu

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

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. Von 2005 bis 2021 wurden 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 wurden 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. Seit 2022 bezieht das UBA die Emissionsdaten direkt von den beiden Betreibern.

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 174: In Deutschland verwendete Emissionsfaktoren für sonstige Schadstoffe

	Industrieruß [kg CO/t]	Industrieruß [kg SO_2/t][61]
1990	4,8/5	19,5/ ([62])
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 175: 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.

[61] Bei zwei angegeben EF bezieht sich der zweite Wert auf die neuen Bundesländer.

[62] Für die neuen Bundesländer wird kein EF ausgewiesen, da diese SO_2-Emissionen nur pauschal in einer Summe berücksichtigt werden konnten.

4.3.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Industrieruß)

Bei den Aktivitätsraten sind im Zeitablauf Schwankungen erkennbar, diese entsprechen aber im Wesentlichen den globalen wirtschaftlichen Schwankungen.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 ($kt\ CO_2$-e.)	(fraction)	Trend 1995-2021
L/T	2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF_6	164,5	0,0 %	1,0	0,0 %	-99,4 %
-/-	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

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 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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2021
-/-	2 B 10, Other Chemical Industry		CH_4	66,6	0,0 %	65,0	0,0 %	-2,4 %
-/-	2 B 10, Other Chemical Industry		N_2O	C	C	C	C	C

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 176: 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 177: 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, 2009) 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 (siehe Tabelle 178) 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. Alle CH_4-Emissionen werden dabei unter 2.B.10 erfasst.

Tabelle 178: Ableitung Splitfaktoren für flüssige Mineralölprodukte

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Ottokraftstoffe	kt	31.257	30.333	28.833	23.431	19.634	18.226	16.218	16.428
	Anteil in %	73,03	69,41	64,18	56,52	54,17	52,74	57,87	54,55
Naphtha	kt	11.546	13.370	16.091	18.024	16.611	16.331	11.804	13.686
	Anteilin %	26,97	30,59	35,82	43,48	45,83	47,26	42,13	45,45

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**2 C 1, Iron and Steel Production**		**CO_2**	**22.810,3**	**1,8 %**	**16.418,9**	**2,2 %**	**-28,0 %**
-/-	2 C 1, Iron and Steel Production		CH_4	5,2	0,0 %	5,5	0,0 %	5,6 %
-/-	2 C 1, Iron and Steel Production		N_2O	23,6	0,0 %	11,9	0,0 %	-49,5 %

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 2021 28,2 t Mio. t Rohstahl auf Erzbasis in sechs integrierten Hüttenwerken erzeugt. Die Elektrostahlproduktion betrug 12,1 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.

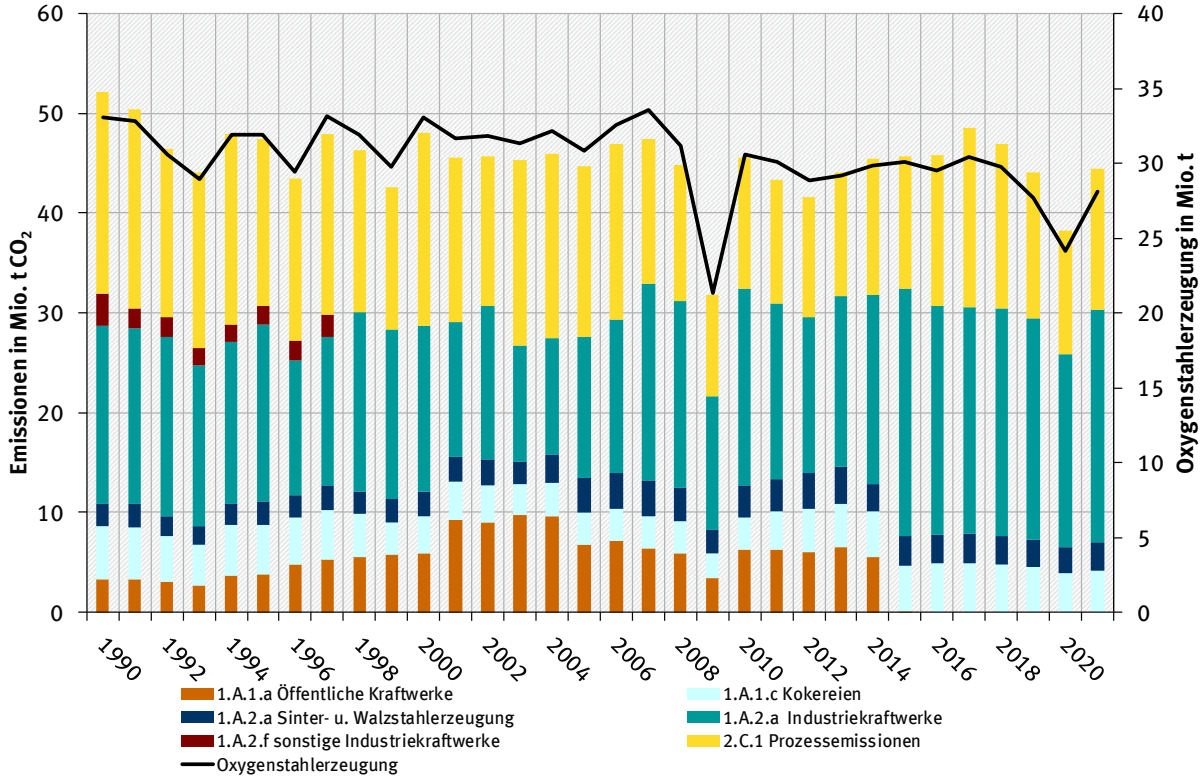
Methode zur Berechnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz in den Hochöfen resultierenden CO_2-Emissionen

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[63].

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 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).

[63] 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 %),

Abbildung 44: 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 179: 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
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	0,000	0,000
1.A.1.c Kokereien	3,954	4,111
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	2,524	2,958
1.A.2.a Industriekraftwerke	19,346	23,241
1.A.2.f Sonstige Industrie-kraftwerke	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	12,476	14,195

Sekundärbrennstoffe wurden in der Eisen- und Stahlindustrie nur von 1996 bis 2019 bei der Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt, zuletzt aber nur noch von einem Werk in sehr geringem Umfang. Diese Materialien waren in nationalen Statistiken und der Energiebilanz nicht enthalten. Als Datenquelle wurden daher Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl genutzt. Da die Sekundärbrennstoffe 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, Nanning, 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 180). 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 180 angegebenen CO_2-Emissionen.

Tabelle 180: 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
2021	733.223	3.865.442	149.500*)	2.023.412	111.527*)	2.134.939

Quelle: bis 2004: Berechnung der Kalksteineinsätze im Projekt Kalksteinbilanz ((Lechtenböhmer, Nanning, 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 181 zu entnehmen.

Tabelle 181: 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	93.070	**15.652.946**
2016	15.100.844	2.105.041	92.863	**17.298.748**
2017	18.075.302	2.275.491	95.909	**20.446.702**
2018	16.450.331	2.182.283	93.669	**18.726.283**
2019	14.667.114	2.193.175	87.787	**16.948.076**
2020	12.476.463	1.880.095	85.057	**14.441.615**
2021	14.194.851	2.134.939	89.157	**16.418.947**

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.

Weiterhin ist seit 2017 die zur Berechnung der Eigenerzeugung an Branntkalk genutzte Aktivitätsrate nicht mehr öffentlich verfügbar. Die Aktivitätsrate wird seither als konstant angenommen. Aufgrund der getroffenen Annahmen beträgt die Unsicherheit hier ± 7%.

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 2020. Dadurch sinken die CO_2-Gesamtemissionen um 96,46 kt (0,66 %). Die CO_2-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand wurden für die Jahre 2015 bis 2020 aktualisiert. Dies führt aber nicht zu Änderungen der CO_2-Gesamtemissionen, weil es sich nur um Korrekturen von Übertragungsfehlern handelt.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-/2	**2 C 2, Ferroalloys Production**		**CO_2**	**429,0**	**0,0 %**	**6,0**	**0,0 %**	**-98,6 %**
-/-	2 C 2, Ferroalloys Production		CH_4	9,6	0,0 %	1,8	0,0 %	-81,0 %

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 für CO_2 eine Hauptkategorie nach der Methode-2-Analyse.

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.

Der verwendete Emissionsfaktor ist deutlich niedriger als der Standard-Emissionsfaktor nach IPCC-Guidelines 2006 . Das liegt daran, dass unter 2.C.2 nur die prozessbedingten CO2-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand berücksichtigt werden. Die übrigen CO2-Emissionen aus dem Verbrauch von Reduktionsmitteln werden aufgrund der Struktur der nationalen Energiebilanz unter 1.A.2 eingeordnet. Die Verwendung des Standard-Emissionsfaktors würde daher zu einer unzulässigen Doppelzählung führen.

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 2022 (Idoine et al., 2022) zurückgegriffen, weil keine nutzbaren Daten

mehr in der amtlichen Produktionsstatistik enthalten sind. Die aktuell verfügbaren Daten stammen aus dem Jahr 2020. Für das Jahr 2021 ist die Aktivitätsrate fortgeschrieben worden.

4.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.2)

Die Aktivitätsraten des (British Geological Survey, Idoine et al. (2022)) beruhen teilweise auf Schätzungen und sind daher mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten behaftet. Die Unsicherheit für die Aktivitätsrate wird auf +/- 50% geschätzt.

Die Daten des (British Geological Survey, Idoine et al. (2022)) 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. Die Unsicherheit beträgt über die Jahre +/- 50%.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990/1995-2021
-/-/2	**2 C 3, Aluminium Production**		**CO_2**	**1.011,9**	**0,1 %**	**696,1**	**0,1 %**	**-31,2 %**
-/-	2 C 3, Aluminium Production		SF_6	C	C	C	C	C
-/T	**2 C 3, Aluminium Production**		**CF_4**	1.385,7	0,1 %	49,0	0,0 %	-96,5 %
-/-	2 C 3, Aluminium Production		C_2F_6	233,1	0,0 %	9,9	0,0 %	-95,7 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 3	AS	CS
CH_4	-	-	NE
PFC	Tier 2	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, sowie zusätzlich für CO2 nach der Methode-2-Analyse.

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 182 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 15.7). 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 182 genannten Emissionsfaktoren wurden mit den Emissionsangaben in BAT-Merkblättern[64] und anderen Quellen (z.B. der VDI Richtlinie 2286 VDI (1998): Blatt 1) sowie mit den Daten aus dem EU-Emissionshandel (ETS) abgeglichen.

Tabelle 182: 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[65] 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.

[64] siehe http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm

[65] „...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....“ (Schwarz & Leisewitz, 1996) .

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.

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.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2021
-/-	2 C 4, Magnesium Production		SF_6	C	C	C	C	C
-/-	2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	0,0	0,0 %	7,5	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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 C 5, Lead Production		CO_2	157,9	0,0 %	64,4	0,0 %	-59,2 %

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 C 6, Zinc Production		CO_2	670,8	0,1 %	289,2	0,0 %	-56,9 %

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 D 1, Lubricant Use		CO_2	188,6	0,0 %	198,3	0,0 %	5,1 %

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 zwei Einbrüchen in den Jahren 2009 und 2020relativ konstant. Im Jahr 2022 betrug der Verbrauch ohne mobile Anwendungen 653.165 t.

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 16.1.3. 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[66] eingesehen werden.

66 http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_erhebungskreisliste.xls;jsessionid=8F5CC4170FEBCC89A69DE21218062873.2_cid378?__blob=publicationFile&v=4

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
- 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 183: 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.

Um konform mit den 2006 IPCC Guidelines und der Emissionsberichterstattung der EU zu sein, werden die NMVOC-Emissionen werden in CO_2-Emissionen umgerechnet. 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 184: 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 185: 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 186: Kohlendioxid aus unbeabsichtigt in mobilen Nicht-Zweitaktmotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.A.2.g vii	3,53	3,33	3,28	2,80	3,02	3,38	3,50	3,60	3,35	3,38	3,53	3,49
1.A.3.a	0,23	0,22	0,24	0,22	0,22	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,10	0,07
1.A.3.b	86,1	104	114	118	121	129	131	133	134	135	118	119
1.A.3.c	1,41	1,14	0,93	0,68	0,57	0,51	0,53	0,44	0,37	0,42	0,43	0,43
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	2,13
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	0,74
1.A.4.b ii	hier nur Einsatz von Ottokraftstoff-Zweitaktern											
1.A.4.c ii	3,90	3,27	3,05	2,96	3,31	3,78	3,93	4,05	3,80	3,84	4,04	4,05
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	0,35	0,35
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	0,03
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	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	0,04
Summe	**103**	**117**	**126**	**128**	**131**	**140**	**143**	**144**	**145**	**146**	**129**	**130**
1.D.1.a	1,20	1,49	1,94	2,30	2,43	2,45	2,65	2,92	3,01	2,98	1,37	1,82
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	5,44

Quelle: eigene Berechnungen

4.5.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.1)

Die Unsicherheiten der sortengruppenspezifischen Emissionsfaktoren für die *stationären* Schmierstoffanwendungen ergeben sich aus den Spannbreiten der Emissionsfaktoren in Tabelle 183.

Für die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden durch Expertenschätzung im Rahmen des Gutachtens aufgrund von ausgewerteten Fehlmeldungen in der Mineralölstatistik 5 % angenommen.

Da die bei der *mobilen* Schmierstoffanwendung mitverbrannten Mengen mit einem konservativen Ansatz berechnet werden, wird hier mit ±25% eine deutlich höhere Unsicherheit angenommen. Gleiches gilt für den genutzten default-Emissionsfaktor für CO_2, dessen Unsicherheit aufgrund der verhältnismäßig heterogenen Produktgruppe der Schmierstoffe mit ±10% angenommen wird.

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 ggü. Submission 2022 keinerlei Rückrechnungen.

Für die *mobilen* Schmierstoffanwendungen kam es dagegen zu einer minimalen Anpassung der ungewollt mitverbrannten Schmierstoffmengen.

Tabelle 187: revidierte ungewollt mitverbrannte Mengen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	1.400	1.601	1.713	1.746	1.792	1.916	1.946	1.971	1.977	1.990	1.765
Submission 2022	1.400	1.602	1.714	1.747	1.796	1.914	1.941	1.963	1.965	1.983	1.771
Änderung absolut	-0,20	-0,68	-0,89	-0,52	-3,94	1,39	4,74	8,63	11,7	6,98	-5,52
Änderung relativ	-0,01%	-0,04%	-0,05%	-0,03%	-0,22%	0,07%	0,24%	0,44%	0,60%	0,35%	-0,31%

Quelle: TREMOD und TREMOD MM

Die Emissionen aus dieser ungewollten Mitverbrennung wurden entsprechend neu berechnet.

Tabelle 188: revidierte CO_2-Emissionen aus ungewollter Mitverbrennung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	103	117	126	128	131	140	143	144	145	146	129
Submission 2022	103	117	126	128	132	140	142	144	144	145	130
Änderung absolut	-0,01	-0,05	-0,07	-0,04	-0,29	0,10	0,35	0,63	0,86	0,51	-0,40
Änderung relativ	-0,01%	-0,04%	-0,05%	-0,03%	-0,22%	0,07%	0,24%	0,44%	0,60%	0,35%	-0,31%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Revision der Gesamtmenge der berechneten Kohlendioxid-Emissionen beruht folglich allein aus den für die mobile Anwendung beschriebenen Anpassungen.

Tabelle 189: revidierte CO_2-Emissionen aus stationärer und mobiler Anwendung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	188,6	180,4	191,2	186,8	193,4	218,5	224,7	233,9	227,2	226,5	182,0
Submission 2023	188,6	180,4	191,3	186,8	193,6	218,4	224,3	233,3	226,3	226,0	182,4
Änderung absolut	-0,01	-0,05	-0,07	-0,04	-0,29	0,10	0,35	0,63	0,86	0,51	-0,40
Änderung relativ	-0,01%	-0,03%	-0,03%	-0,02%	-0,15%	0,05%	0,15%	0,27%	0,38%	0,23%	-0,22%

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, 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.

Für die mobile 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.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-/2	**2 D 2, Paraffin Wax Use**		**CO_2**	**242,7**	**0,0 %**	**502,3**	**0,1 %**	**107,0 %**
-/-	2 D 2, Paraffin Wax Use		N_2O	0,6	0,0 %	1,3	0,0 %	107,0 %

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 eine Hauptkategorie für CO2 nach der Methode-2-Analyse.

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 % (Michael Matthäi & Petereit, 2004) bzw. 22 % (M. 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.

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 (jährlich - 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 2021 betrug 200538,7 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 2020 war eine Korrektur der CO_2 und N_2O-Emissionen notwendig, da sich Anpassungen der Außenhandelsstatistik ergaben. Die Anwendungsmengen stiegen aber nur um 0,12 % für das Jahr und dementsprechend auch die CO_2- und N_2O-Emissionen.. 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, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 D 3, Other		CO_2	2.551,1	0,2 %	1.328,8	0,2 %	-47,9 %

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[67] basieren.

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**

[67] hier in der Detaillierung des sogenannten SNAP Level 3

- **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

Gemäß den 2006 IPCC Richtlinien werden die NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Metallbearbeitungsölen (Kühlschmierstoffe) und sonstigen Schmierstoffen (Industrieschmierstoffe) nicht unter der Quellkategorie 2.D.3.i. – „Andere Anwendungen“ berichtet, sondern 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[68]. Zur

[68] 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.

Konkretisierung des Begriffes „Lösemittelanwendung“ (solvent use) wird für die Lösemitteldefinition ebenfalls auf die EG-Lösemittelrichtlinie zurückgegriffen[69].

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:

- 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

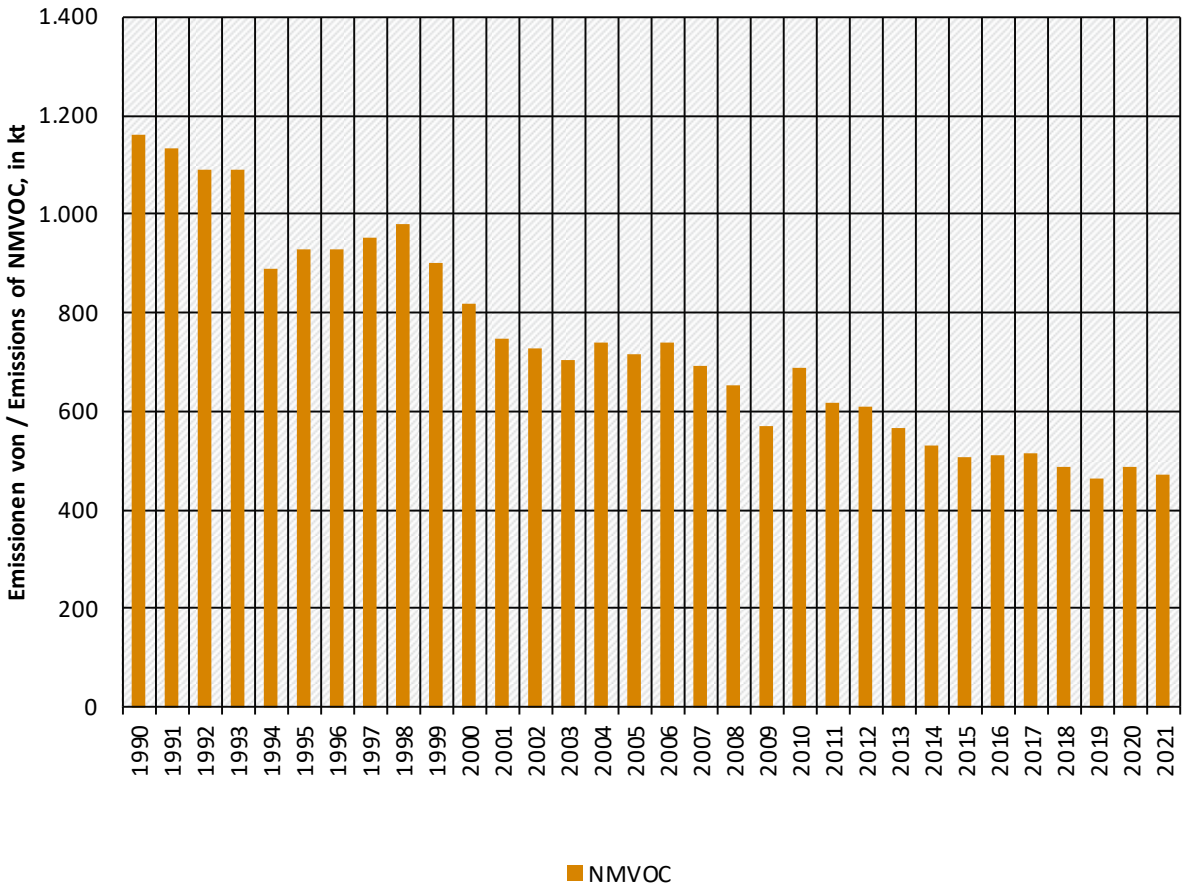
[69] Demnach ist ein organisches Lösemittel eine flüchtige organische Verbindung, die, ohne sich chemisch zu verändern, alleine oder in Kombination mit anderen Stoffen Rohstoffe, Produkte oder Abfallstoffe auflöst oder als Reinigungsmittel zur Auflösung von Verschmutzungen, als Lösungsmittel, als Dispersionsmittel oder als Mittel zur Einstellung der Viskosität oder der Oberflächenspannung oder als Weichmacher oder Konservierungsmittel verwendet wird.

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 45: 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:

$$EM_{\text{indirektes CO2}} = EM_{NMVOC} * \text{Molmasse } CO_2 / \text{Molmasse C} * 60\ \%$$

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, 2022c) 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)[70] 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

[70] Informative Inventory Report – Germany http://iir.umweltbundesamt.de

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.

Eine Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie „Bitumen blasen“ ist durch Expertenschätzung erfolgt. Für den prozentualen Anteil des Blasbitumens am Gesamtaufkommen an Bitumen und den Emissionsfaktor für NMVOC müssen aufgrund der schlechten Datenlage eine größere Unsicherheit bis zu 100% angenommen werden.

4.5.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Lösemittel)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle 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 das Jahr 2020 wird diese Anpassung auf die Berichterstattung 2024 verschoben, weil für einige Anwendungen die Brechnungsgrundlagen auch für weitere Jahre überprüft werden müssen und diese Überprüfung für die Berichterstattung 2023 nicht rechtzeitig abgeschlossen werden konnte.

4.5.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Lösemittel)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant, siehe erster Absatz unter kateoriespezifische Rückrechnungen.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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[71] und ist somit keine Hauptkategorie.

[71] siehe Diskussion um indirekte CO2-Emissionen unter methodische Aspekte

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 190 zu entnehmen, wobei die Abweichung zwischen beiden Angaben vom Exportüberschuss abhängt. Bei der Herstellung wird flüssiges Bitumen bei 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 [71]).

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, 2022). 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/m^2).

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 190: Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen und dazugehörige AR und EF

	Produzierte oder verarbeitete Fläche in 2021 [Mio. m^2]	EF/ IEF [kg/ m^2]
Herstellung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen	169	NMVOC 0,000358
Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen	144	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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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[72] 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 [72]).

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland ca. 38 Mio. t Asphalt (DAV, 2022) 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.

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 191: 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.

[72] siehe Diskussion um indirekte CO2-Emissionen unter methodische Aspekte

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 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 (Selective Catalytic Reduction)-Katalysator zum Einsatz. In diesen Katalysatoren zur reduktiven Minderung von NO_x-Emissionen kommt eine wässrige Harnstofflösung[73] 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, Heidt, Gores, et al., 2021) anhand der Angaben zum Kraftstoffverbrauch der SCR-Fahrzeuge berechnet.

[73] mittlerer Harnstoffgehalt gemäß DIN 70070: 32,5 %

Tabelle 192: modellierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Pkw			3.031	53.918	97.538	141.597	177.957	202.643	181.881	199.353
Leichte Nutzf.				606	4.632	18.012	37.363	55.848	65.773	80.769
Lastkraftwagen	203	7.640	344.837	574.584	630.691	682.151	724.394	736.761	730.089	749.876
Busse	51	201	17.382	38.476	44.676	48.600	53.110	57.703	40.510	41.954
Σ Straße	**254**	**7.841**	**365.250**	**667.582**	**777.538**	**890.359**	**992.823**	**1.052.956**	**1.018.252**	**1.071.953**
Bauwirtschaft				5.915	16.062	29.023	41.793	54.236	66.729	79.331
GHD				876	2.405	4.347	6.256	8.132	10.018	11.944
Landwirtschaft				2.363	6.749	13.098	20.145	27.241	35.105	44.826
Forstwirtschaft				334	1.064	2.129	3.786	5.235	7.552	9.089
Σ Offroad				**9.488**	**26.279**	**48.597**	**71.981**	**94.844**	**119.404**	**145.189**
insgesamt	**254**	**7.841**	**365.250**	**677.070**	**803.817**	**938.955**	**1.064.804**	**1.147.800**	**1.137.657**	**1.217.142**

Quelle: Knörr, Heidt, and Bergk (2021); Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

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 193: aus dem Einsatz von AdBlue® resultierende CO_2-Emissionen, in Kilotonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Pkw			0,72	12,85	23,25	33,75	42,41	48,30	43,35	47,51
Leichte Nutzf.				0,14	1,10	4,29	8,90	13,31	15,68	19,25
Lastkraftwagen	0,05	1,82	82,19	136,94	150,31	162,58	172,65	175,59	174,00	178,72
Busse	0,01	0,05	4,14	9,17	10,65	11,58	12,66	13,75	9,65	10,00
Σ Straße	**0,06**	**1,87**	**87,1**	**159**	**185**	**212**	**237**	**251**	**243**	**255**
Bauwirtschaft				1,41	3,83	6,92	9,96	12,93	15,90	18,91
GHD				0,21	0,57	1,04	1,49	1,94	2,39	2,85
Landwirtschaft				0,56	1,61	3,12	4,80	6,49	8,37	10,68
Forstwirtschaft				0,08	0,25	0,51	0,90	1,25	1,80	2,17
Σ Offroad				**2,26**	**6,26**	**11,6**	**17,2**	**22,6**	**28,5**	**34,6**
insgesamt	**0,06**	**1,87**	**87,1**	**161**	**192**	**224**	**254**	**274**	**271**	**290**

Quelle: Knörr, Heidt, and Bergk (2021); Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

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.

Für die Aktivitätsdaten wird - konservativ - eine Unsicherheit von ±20%, für den Emissionsfaktor von ±10% angenommen.

4.5.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

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.

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 2018.

4.5.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Tabelle 194: revidierte jährliche Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge, in Terajoule

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	204	6.413	362.363	983.205	1.095.009	1.169.391	1.242.910	1.291.487	1.207.384
Submission 2022	204	6.402	366.267	972.677	1.099.810	1.210.755	1.300.247	1.375.806	1.299.775
Änderung absolut	0,28	11,3	-3.905	10.528	-4.801	-41.364	-57.338	-84.319	-92.392
Änderung relativ	0,14%	0,18%	-1,07%	1,08%	-0,44%	-3,42%	-4,41%	-6,13%	-7,11%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr, Heidt, and Bergk (2021); Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

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 195: revidierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	254	7.841	365.250	677.070	803.817	938.955	1.064.80	1.147.80	1.137.65
Submission 2022	254	7.827	370.680	670.930	787.423	911.309	1.027.54	1.126.85	1.136.33
Änderung absolut	0,35	13,9	-5.431	6.140	16.394	27.646	37.262	20.946	1.323
Änderung relativ	0,14%	0,18%	-1,47%	0,92%	2,08%	3,03%	3,63%	1,86%	0,12%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr, Heidt, and Bergk (2021); Knörr, Heidt, Gores, et al. (2021)

Aus den korrigierten AdBlue®-Mengen resultiert nachfolgend dargestellte Anpassung der Kohlendioxid-Emissionen.

Tabelle 196: revidierte CO_2-Emissionen, in Kilotonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2022	0,06	1,87	87,1	161	192	224	254	274	271
Submission 2021	0,06	1,87	88,3	160	188	217	245	269	271
Änderung absolut	0,00	0,00	-1,29	1,46	3,91	6,59	8,88	4,99	0,32
Änderung relativ	0,14%	0,18%	-1,47%	0,92%	2,08%	3,03%	3,63%	1,86%	0,12%

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

4.6 Elektronik-Industrie (2.E)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2021
-/-	2 E, Electronics Industry		SF_6	48,7	0,0 %	33,3	0,0 %	-31,7 %
-/-	2 E, Electronics Industry		NF_3	5,0	0,0 %	13,7	0,0 %	177,0 %
-/-	2 E, Electronics Industry		HFC-23	14,3	0,0 %	12,3	0,0 %	-13,9 %
-/-	2 E, Electronics Industry		HFC-32	0,0	0,0 %	0,0	0,0 %	
-/-	2 E, Electronics Industry		CF_4	92,1	0,0 %	64,8	0,0 %	-29,6 %
-/-	2 E, Electronics Industry		C_2F_6	147,8	0,0 %	43,9	0,0 %	-70,3 %
-/-	2 E, Electronics Industry		C_3F_8	0,0	0,0 %	14,1	0,0 %	
-/-	2 E, Electronics Industry		c-C_4F_8	0,0	0,0 %	5,8	0,0 %	
-/-	2 E, Electronics Industry		C_6F_{14}	21,6	0,0 %	0,0	0,0 %	-100,0 %

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 der fluorierten Treibhausgase können 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

4.7 Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (2.F)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1995-2021
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-23	13,6	0,0 %	63,3	0,0 %	364,5 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	0,8	0,0 %	244,4	0,0 %	32133,2 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	C	C	C	C	C
-/T	**2 F, Product Uses as Substitutes for ODS**		**HFC-125**	**135,7**	**0,0 %**	**1.874,6**	**0,3 %**	**1281,0 %**
L/T	**2 F, Product Uses as Substitutes for ODS**		**HFC-134a**	**2.062,0**	**0,2 %**	**4.216,9**	**0,6 %**	**104,5 %**
-/T	**2 F, Product Uses as Substitutes for ODS**		**HFC-143a**	**76,6**	**0,0 %**	**1.233,3**	**0,2 %**	**1510,1 %**
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	100,2	0,0 %	23,5	0,0 %	-76,5 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	0,7	0,0 %	81,4	0,0 %	12001,5 %
-/-	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_2F_6	0,0	0,0 %	2,4	0,0 %	
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C_3F_8	20,1	0,0 %	0,9	0,0 %	-95,5 %
-/-	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 197/Tabelle 198	s. Tabelle 197/Tabelle 198	s. Tabelle 197/Tabelle 198

Die Kategorie Anwendungen als ODS Ersatzstoff ist für HFKW-134a-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend sowie für HFKW-143a- und HFKW-125-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 197: 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 198: 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 197) 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 und wird freiwillig als „additional greenhouse gas“ berichtet (Kapitel 4.9.3).

Für die Berechnung der HFKW-Emissionen aus den Untergruppen der Kälte- und Klimaanlagen werden 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 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 Treibhauspotential (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[74] (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.

[74] 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 (Schwarz et al., 2012; 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 197), 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 % und ab dem Jahr 2020 60 %, bei Verflüssigungssätzen beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2005 47,5 % und ab dem Jahr 2020 80 %, bei Zentralanlagen steigt der Rückgewinnungsfaktor von 42,9 % im Jahr 2000 auf 80 % ab dem 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[75] erfasst. Das EHI erhebt ebenfalls die Anzahl der Discounter. Auch die Anzahl der Gewerbebetriebe wird jährlich aus verschiedenen, öffentlich verfügbaren Statistiken aktualisiert (Schwarz et al., 2012; 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

[75] 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 197). 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 % (ab 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, Hochtemperatur-wärmepumpen 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 (Schwarz et al., 2012; 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 197 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 % ab dem 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 %, ab dem Jahr 2020 60 %, bei den Kälteanlagen der sektoralen Anwendungsbereiche beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2002 45 % und ab dem 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 4 % bzw. 8 % im Jahr 2021 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 197 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 von da an bis zum Jahr 2020 kontinuierlich auf 5 % (siehe Tabelle 197), um dem Umstand des zunehmend sorgsameren Umgangs mit HFKW-Kältemitteln Rechnung zu tragen. 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 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, jährlich - 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 (Schwarz et al., 2012; 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 197 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Literaturauswertungen (z.B. Schwarz and Harnisch (2003); Siegl et al. (2002); Clodic and Barrault (2011); Clodic et al. (2012); (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 ab dem 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 % (ab 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, 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 197 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 197). 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 % (ab 2020) und für VRF-Multi-Split-Geräte zwischen 8,1 % (2003) und 4,9 % (ab 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 ab dem Jahr 2020 40 %, bei Single-Split-Geräten beträgt er im Jahr 2008 37,9 % und ab dem Jahr 2020 60 %, bei Multi-Split-Geräten liegt er im Jahr 2011 bei 62 % und ab dem Jahr 2020 bei 80 %. Bei VRF-Multi-Split-Geräten liegt er im Jahr 2016 bei 72 % und ab dem 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.
- 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 197 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 % (ab 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 % und ab dem Jahr 2020 80 %, bei Turboverdichteranlagen beträgt er im Jahr 2003 69,5 % und ab dem 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 197 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 % und ab dem 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 197 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 (Schwarz et al., 2012; 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 197 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 % und ab dem 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 nur 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 (Schwarz et al. 2012; 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)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

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. Ebenso wurde die Stückzahl der Tankstellenshops für 2020 nach oben korrigiert und beinhaltet jetzt auch Autobahntankstellen. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 im Jahr 2020.

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.

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 die Fleisch – und Weinproduktion für das Jahr 2020 aktualisiert. Außerdem war eine Rekalkulation der Anteile von R404A und R407C in den Jahren 2016 bis 2020 in Kälteanlagen für die Weinproduktion und für das Jahr 2019 in Anlagen für die Fruchtsaftproduktion wegen einer Modellaktualisierung erforderlich. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 2016 bis 2020.

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 Schienenfahrzeugen (Subquellgruppe 2.F.1.e) mussten die Verbrauchsmengen zur Produktion für das Jahr 2020 aktualisiert werden. Dadurch änderten sich auch die Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-134a.

Bei Single-Split-Raumklimageräten (Subquellgruppe 2.F.1.f) musste basierend auf neuen Erkenntnissen der Anteil von HFKW-32 in neuen Geräten von 60 auf 90 % erhöht und der Anteil von R410A von 40 auf 10 % für das Jahr 2020 gesenkt werden. Dadurch gab es Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125 und HFKW-32.

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 2016 bis 2020 sind in Tabelle 199 aufgeführt..

Tabelle 199: 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 Jahren 2016 bis 2020

	Einheit	2016	2017	2018	2019	2020
EM HFKW-125						
Submission 2023	t CO_2eq	2.258.185	2.272.571	2.252.195	2.146.960	2.069.043
Submission 2022	t CO_2eq	2.258.185	2.272.571	2.252.195	2.146.963	2.079.388
Differenz	t CO_2eq	+ 0,010	+ 0,010	+ 0,013	- 2,041	- 10.344
EM HFKW-134a						
Submission 2023	t CO_2eq	5.188.984	4.999.080	4.822.681	4.564.614	4.464.259
Submission 2022	t CO_2eq	5.188.984	4.999.080	4.822.681	4.564.614	4.371.671
Differenz	t CO_2eq	+ 0,003	+ 0,003	+ 0,004	- 0,600	- 7.412
EM HFKW-143a						
Submission 2023	t CO_2eq	1.937.129	1.827.008	1.637.116	1.450.989	1.257.200
Submission 2022	t CO_2eq	1.937.130	1.927.008	1.637.116	1.450.985	1.257.474
Differenz	t CO_2eq	- 0,032	- 0,021	- 0,027	+ 4,356	- 274
EM HFKW-32						
Submission 2023	t CO_2eq	148.062	164.621	179.929	193.290	217.709
Submission 2022	t CO_2eq	148.062	164.621	179.929	193.290	215.778
Differenz	t CO_2eq	- 0,001	- 0,0004	- 0,0005	+ 0,073	+ 1.931
EM HFKW-227ea						
Submission 2023	t CO_2eq					2.341
Submission 2022	t CO_2eq					2.324
Differenz	t CO_2eq					+ 17
EM HFKW-23						
Submission 2023	t CO_2eq					57.469
Submission 2022	t CO_2eq					58.593
Differenz	t CO_2eq					- 1.124
EM FKW-116						
Submission 2023	t CO_2eq					2.627
Submission 2022	t CO_2eq					2.691
Differenz	t CO_2eq					- 63
EM FKW-218						
Submission 2023	t CO_2eq					1.214
Submission 2022	t CO_2eq					1.259
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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 198 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[76]) 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,

[76] 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 198 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[77] bzw. dessen Branchenverband EXIBA[78] 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-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.

[77] CEFIC – The European Chemical Industry Council
[78] 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 198 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 198 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)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

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-245fa und HFKW-365mfc wegen Berücksichtigung der nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhobenen Anteile der verschiedenen Treibgase für das Jahr 2020 aktualisiert.

Bei Polyurethan-Integralschäumen werden die Inlandsverbräuche für die Produktion mit HFKW-134a ab dem Jahr 2013 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.

Die Änderungen der Emissionen von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterkategorie Schaumherstellung (2.F.2) für das Jahr 2020 ist in Tabelle 200 aufgeführt.

Tabelle 200: 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) im Jahr 2020

	Einheit	2020
EM HFKW-134a		
Submission 2023	t CO_2eq	63.926
Submission 2022	t CO_2eq	64.588
Differenz	t CO_2eq	- 662
EM HFKW-152a		
Submission 2023	t CO_2eq	19.679
Submission 2022	t CO_2eq	31.087
Differenz	t CO_2eq	- 11.408
EM HFKW-227ea		
Submission 2023	t CO_2eq	9.625
Submission 2022	t CO_2eq	10.804
Differenz	t CO_2eq	- 1.179
EM HFKW-245fa		
Submission 2023	t CO_2eq	207.443
Submission 2022	t CO_2eq	130.493
Differenz	t CO_2eq	+ 76.950
EM HFKW-365mfc		
Submission 2023	t CO_2eq	89.258
Submission 2022	t CO_2eq	87.129
Differenz	t CO_2eq	+ 2.129

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 198 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 198 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 198 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)

Die Menge für die inländische Abfüllung und die verkaufte Menge von HFKW-1234ze in allgemeinen Aerosolen für die Jahre 2018 bis 2020 musste aufgrund neuer Herstellerangaben rekalkuliert werden. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung. Da HFKW-1234ze zu den freiwillig berichteten Stoffen zählt, wird hier auf eine Quantifizierung verzichtet.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		CH_4	5,1	0,0 %	23,7	0,0 %	367,4 %
-/T	**2 G, Other Product Manufacture and Use**		**N_2O**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**
L/T	**2 G, Other Product Manufacture and Use**		**SF_6**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**
-/-	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 %	-
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		$C_{10}F_{18}$	C	C	C	C	C

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, PFC, HFC	s. Tabelle 201	s. Tabelle 201	s. Tabelle 201

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 201.

Tabelle 201: 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 sanken die absoluten Emissionen, vor allem durch sinkende Emissionen aus der Hochspannung bis 2020. Emissionen aus der Mittelspannung und sonstigen Betriebsmittel steigen, nicht zuletzt durch eine stetig wachsende Anlagenzahl. Die Gesamtemissionen bleiben 2021 konstant. . 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 201 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 202 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 202: Inventardaten 2021 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	Herstellung	Betrieb
			(Tonnen SF_6)		
Elektrische Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung 2.G.1 (Summe), darin:	**562**	**3203**	**11**	**3,7**	**6,0**
MS Schaltanlagen und -geräte *	185	1481	1,2	0,3	1,5
HS Schaltanlagen und -geräte**	304	1351	9	1,2	3,5
Sonstige Elektrische Betriebsmittel ***	72	371	0	2,2	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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 (Schwarz et al., 2012). Es war nur eine sehr 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 203: SF_6-Bestand in Teilchenbeschleunigern in 5 Anwendungssektoren ab 1995, in t

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2021
(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	0,137
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 204: SF_6-Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in t

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2021
(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	0,522
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 205).

Tabelle 205: SF_6-Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern in fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in % des SF_6-Bestands

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2021
(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 (Schwarz & Leisewitz, 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 201 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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[79] 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

[79] 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[80]. Das ergibt eine in Deutschland verbrauchte Menge von 51,8 kt. Der Anteil von ANFO an der Gesamtmenge beträgt 60 %, der der

[80] 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[81], 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, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

[81] 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 201 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)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

Die HFKW-245fa-Befüllungsmenge des Jahres 2020 wurde basierend auf Herstellerangaben aktualisiert. Dadurch kam es zu einer Reduzierung der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-245fa von 13.333 auf 13.245 t CO_2-Äquivalente.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 201 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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.

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 206: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Zellstoff (deutscher Beitrag zur Revision des BVT-Merkblattes für die Papier und Zellstoffindustrie 2007 (Spörl, 2009) und Überprüfung der Emssionsfaktoren anhand realer Anlagenmessdaten 2021)

in kg/ t	NO_X	NMVOC	SO_2	CO
Sulfatzellstoff	1,071	C	0,017	0,474
Sulfitzellstoff	1,66		1,54	0,1

Zuletzt wurden in 153 Anlagen folgende Mengen produziert:

Tabelle 207: Zellstoff- und Papierherstellung, produzierte Mengen

Produkt	Produzierte Mengen 2021	
Erzeugung von Papier, Pappe und Karton (PPK)	23,12	Mio. t
Rohstoffproduktion:		
Papierzellstoff	1.571	kt
Holzstoff	756	kt
Altpapierstoff	14.470	kt
Menge dazu eingesetzten Altpapiers	(18.294 kt)	

Quelle: (DIE PAPIERINDUSTRIE e. V. - Erzeugerpreisindex StaBu, 2022)

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 (Statistisches Bundesamt, 2022f), müssen zur weiteren Verwendung aber von Volumen- in Massenangaben umgerechnet werden.

Tabelle 208: Umgerechnete Aktivitätsdaten der Spanplattenindustrie

Jahr	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Spanplattenproduktion [in t]	4.560.000	4.703.000	4.322.168	4.489.681	4.430.611	4.775.500

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 2022 erforderlich, da die Aktivitätsrate für das Jahr 2020 für Sulfitzellstoff die Produktion eines Werkes bei der Summenbildung nicht berücksichtigt hat. 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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, Nanning, et al. (2006b); Lechtenböhmer, Nanning, 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 (2019a), 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 2021 insgesamt 15,4 kt NMVOC-Emissionen, wovon 4,1 kt NMVOC auf die Brotherstellung, 3,8 kt NMVOC auf die Zuckerherstellung und 3,7 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 Minderungen, dagegen bei der Zuckerherstellung erntebedingte Steigerungen.

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)

Aufgrund minimaler Korrekturen in der Statistik des Vorjahres wurden Rückrechnungen für NMVOC im Bereich der Futtermittelproduktion notwendig, diese führte zu einer Erhöhung um weniger als eine Tonne NMVOC. Korrekturen bei der Statistik der Trockengrünfuttererzeugung führten zu einer Erhöhung der Staubemissionen um 7 Tonnen, was einer Steigerung von 3,8% entspricht..

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

4.9.3 Andere Bereiche (2.H.3)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFKW, FKW, SF_6	s. Kapitel 4.6.4: Tabelle 198/ Tabelle 201	s. Kapitel 4.6.4 / 4.7.5 / 4.8.2	s. Tabelle 198/ Tabelle 201

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 209 dargestellten nicht berichtspflichtigen Treibhausgase für die in Deutschland relevanten, ebenfalls aufgezählten Anwendungen zu berichten. In Tabelle 210 sind die Emissionen dieser nicht berichtspflichtigen Treibhausgase aus Vertraulichkeitsgründen in aggregierter Form dargestellt.

Tabelle 209: Überblick über freiwillig berichtete fluorierte Treibhausgase, ihre Treibhausgaspotenziale (AR5 GWP) und ihre Anwendungsbereiche

Treibhausgas	Formel	GWP	Anwendungsbereich	QG
HFCKW-1233zd	$CHCl=CH-CF_3$ (E)	1	stationäre Klimaanlagen	2.F.1.f
HFKW-1234yf	$CF_3-CF=CH_2$	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)	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)	$CHF_2OCHClCF_3$	491	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
HFE-236ea2 (Desfluran)	$CHF_2OCHFCF_3$	1.790	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
HFE-347mmz1 (Sevofluran)	$CH_2FOCH(CF_3)_2$	216	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
PFPE/PFPMIE	$CF_3(OCF(CF_3)CF_2)_n(OCF_2)_mOCF_3$	9.710	ORC-Anlagen	2.G.4
Sulfuryldifluorid	SO_2F_2	4.090	Containerbegasung	2.G.4

Quelle: 5. IPCC Assessment Report, Kapitel 8, S. 731, Appendix 8.A (Stocker et al., 2014).

Tabelle 210: 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	4.262
1991	5.323
1992	6.480
1993	7.733
1994	9.082
1995	10.527
1996	21.650
1997	32.320
1998	43.855
1999	56.254
2000	69.519
2001	80.526
2002	92.161
2003	104.423
2004	118.336
2005	130.831
2006	379.351
2007	416.911
2008	368.045
2009	417.697
2010	394.191
2011	310.949
2012	348.969
2013	424.495
2014	387.923
2015	401.615
2016	375.204
2017	337.966
2018	430.866
2019	848.613
2020	1.036.812
2021	633.557

5 Landwirtschaft (CRF Sektor 3)

5.1 Übersicht (CRF Sektor 3)

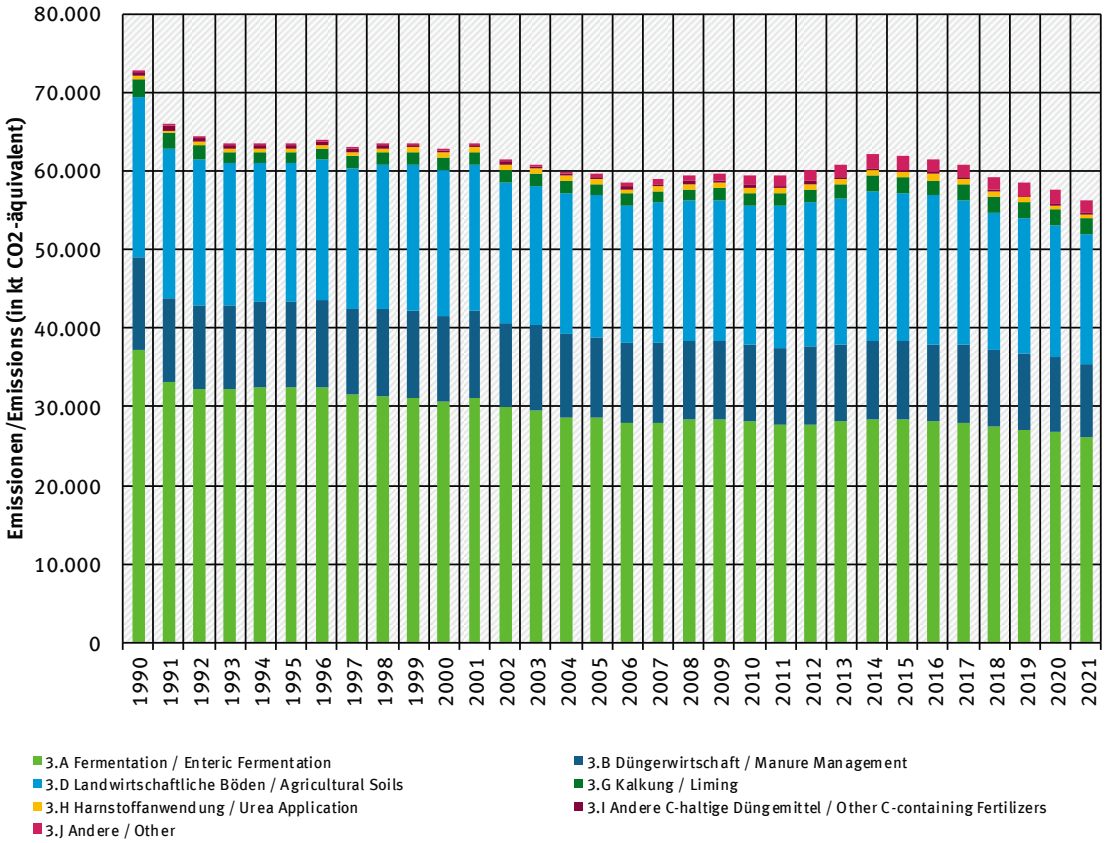
5.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen 1990 - 2021

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 im Abfall-Sektor 5.B.2 (siehe Kapitel 7.3.2) berichtet. Dagegen werden die Emissionen aus der Ausbringung von Gärresten aus Abfall sowie aus der Ausbringung von Komposten aus Bioabfall und Grünabfall erstmals in der vorliegenden Submission 2023 unter 3.D 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 Rösemann et al. (2023), Kap.2.8.9 , verboten (NO).

Abbildung 46 gibt für den vorliegenden NIR 2023 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 46: 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

Das Emissionsinventarmodell Py-GAS-EM beruht im Wesentlichen auf der Umsetzung der entsprechenden Handbücher (Treibhausgase: IPCC (2006c, Vol. 1 & 4); (IPCC, 2019a); Schadstoffe, insbesondere NH_3: EMEP/EEA (2019a). 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 (Rösemann et al., 2023). 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 47 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 47: 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.)

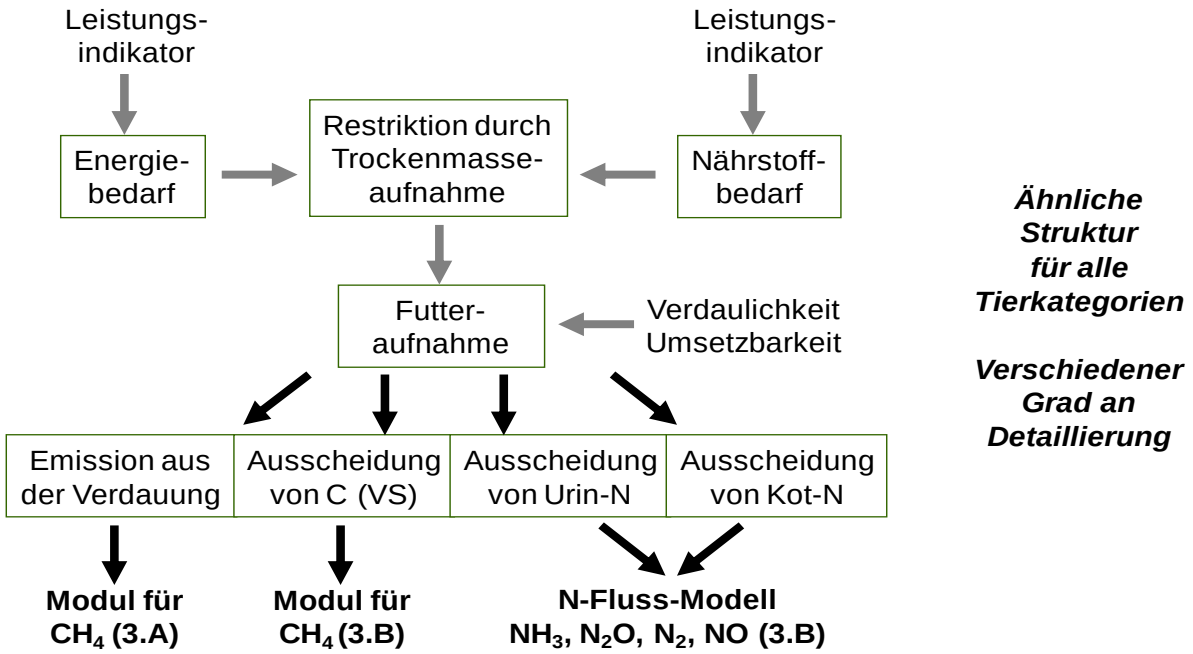
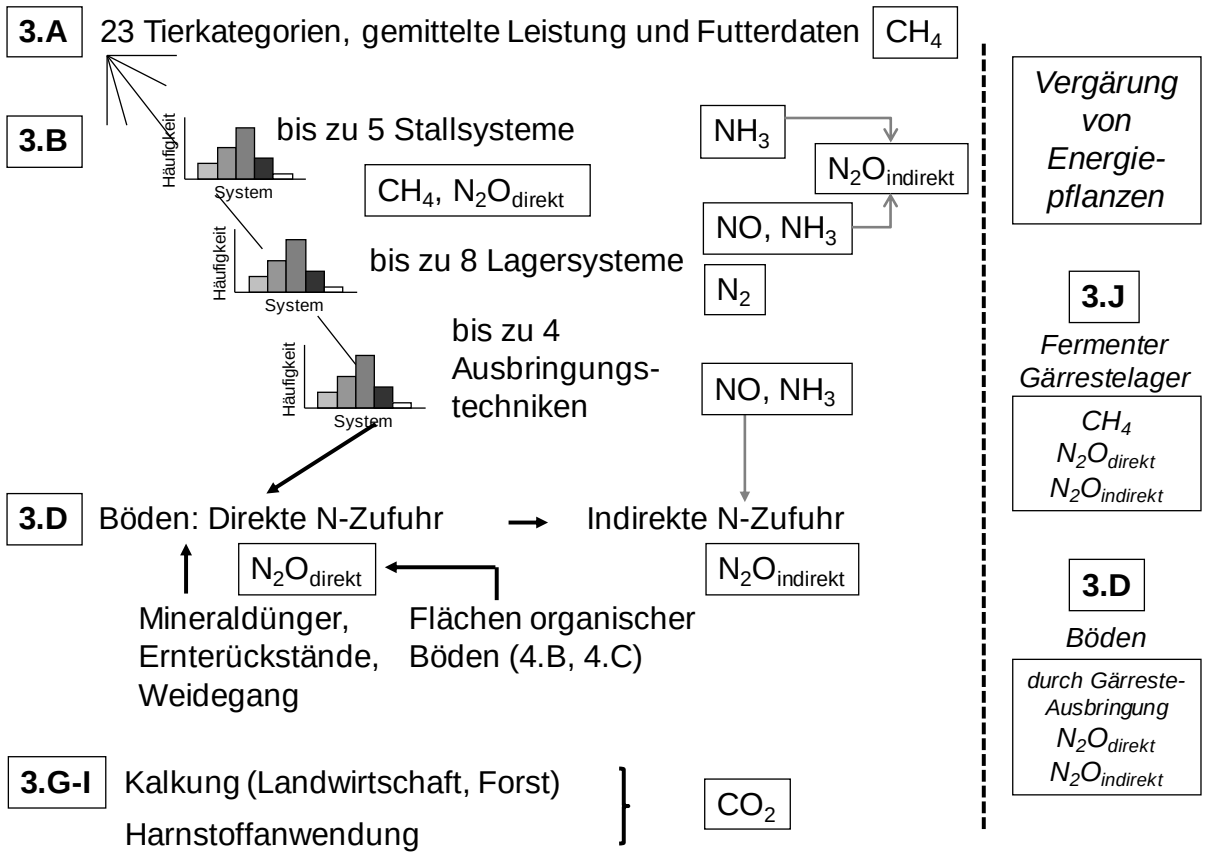


Abbildung 48 zeigt, wie das Py-GAS-EM-Modell erst nach Tierkategorien und –unterkategorien für die Berechnungen der Kategorien 3.A und 3.B differenziert und diese wiederum nach Stallsystemen, Lagerungssystemen (mit Vergärung als separatem Lagersystem) und Ausbringungsverfahren für Wirtschaftsdünger und 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 48: 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. 4.2 in Rösemann et al. (2023).

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. 4.2.2 in Rösemann et al. (2023) . 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, Klärschlamm, Gärresten aus Abfall und Komposten aus Bioabfall oder Grünabfall verursachten 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 211 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 UNFCCC (2014a para 37)) und die zur Emissionsberechnung benötigten Tierzahlen in Deutschland nicht offiziell erfasst werden. In Kapitel 16.3.1 wird der Emissionsbeitrag dieser Kategorien abgeschätzt. In Kapitel 18 werden alle Quellen zusammengestellt, für die keine Emissionen berichtet werden (Eintrag NE).

Tabelle 211: 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 2.3.1 in Rösemann et al. (2023).

[b] Zur Definition von Milch- und Schlachtfärsen siehe Rösemann et al. (2023), Kapitel 2.2.

[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 16.3.1.

[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. 1.1.2.2 in Rösemann et al. (2023).

Die am Stichtag vorgefundenen Anzahlen besetzter Tierplätze werden für die Inventarberechnungen als Tierzahlen interpretiert. Dies entspricht der AAP-Definition („average annual population“) in IPCC (2006c Vol 4, Section 10.2.2): Vol. 4, Section 10.2.2., welche auch von EMEP übernommen wurde (s. EMEP/EEA (2019a 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 Agrarstrukturerhebungen 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 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010) sowie in den Jahren 2013, 2016 und 2020. 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 (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 2.2 in Rösemann et al. (2023)). Die Gesamtzahl der übrigen Rinder im Inventar entspricht dabei aber immer der Gesamtzahl der erhobenen übrigen Rinder. Zu Details dazu siehe Kap. 2.3.1 in Rösemann et al. (2023).

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, siehe Kapitel 2.3.1 in Rösemann et al. (2023). 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 2.3.1 in Rösemann et al. (2023) 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 2.3.1 in Rösemann et al. (2023)).

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. 2.3.4 in Rösemann et al. (2023). 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 Tierzahl für 2021 wurde durch Extrapolation des Trends zwischen 2016 und 2020 geschätzt.

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. Die Tierzahl für 2021 wurde durch Extrapolation des Trends zwischen 2016 und 2020 geschätzt.

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. 2.3.3 in Rösemann et al. (2023). 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. Außer bei den Legehennen wurden für 2021 die Werte von 2020 beibehalten. Bei Legehennen wurden die Zahlen für 2021 auf Grundlage der 2020er Zahlen und der Trends der vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Zahlen der Haltungsplätze geschätzt (Rösemann et al., 2023).

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 212 zusammengestellt. Die aufgelisteten Jahre entsprechen den Jahren, die in nachfolgenden Kapiteln bei Zeitreihendarstellungen verwendet werden. Die vollständige Zeitreihe der Tierzahlen findet sich in Kapitel 2.3 in Rösemann et al. (2023). 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. Auch bei den Schweinen ist eine merkliche Abnahme seit 2017 festzustellen nachdem es in den Jahren zuvor keinen einheitlichen Trend gab. Für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine sind die Tierzahlen des Jahres 2021 die niedrigsten im gesamten betrachteten Zeitraum seit 1990. Die Ursache für diesen Rückgang kann nicht eindeutig ermittelt werden. Mögliche Gründe sind z.B. ungünstige ökonomische Rahmenbedingungen, der Futtermangel aufgrund der verbreiteten Trockenheit in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2020 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 im letzten Zeitreihenjahr aber nicht fortsetzt. 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 254 in Kapitel 5.1.6.

Tabelle 212: 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
2021	3.833	7.207	19.729	1.795	159	457	173.995

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, 2022a). 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 15.08.2022: Zeitreihe bis 2020) und der in Submission 2023 verwendeten Daten zahlreiche Abweichungen: Zwischen 1990 und 2020 stimmen nur rund 13 % 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: Die FAOSTAT-Tierzahlenstimmen nur in den Jahren 2014 – 2020 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 2022 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 1.3.6 in Rösemann et al. (2023).

- Landwirtschaftszählung 2020: Die verwendeten Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2020 zu Anteilen von Haltungs-, Lagerungs- oder Ausbringungsverfahren sowie von Weidegang wurden für das Jahr 2019 als wahr angenommen und nicht wie in Submission 2022 für das Jahr 2020. Dadurch ändern sich die durch Interpolation erhaltenen Daten für die unterschiedlichen Anteile geringfügig, teilweise bis zurück in das Jahr 2000. Die Erhebung liefert erstmals Daten zum Anteil der Feldlagerung von Rinder- und Schweinemist am Gesamtanfall an Mist. Mit Hilfe dieses Anteils, der für die gesamte Zeitreihe als konstant angenommen wird, werden erstmals indirekte Emissionen aus Auswaschung aus der Wirtschaftsdüngerlagerung berichtet.
- Milchkühe: Milchleistung und das Schlachtgewichte für 2020 wurden in der offiziellen Statistik geringfügig korrigiert. Ein Mittelungsfehler bei der VS-Ausscheidung wurde korrigiert mit geringfügigen Auswirkungen auf die Methanemisionen in 3.B
- Färsen: Schlachtgewichte für 2020 wurden in der offiziellen Statistik geringfügig korrigiert.
- Mastbullen: In einigen Jahren wurden Schlachtalter und Schlachtgewichte in der HIT-Datenbank (siehe Kapitel 5.1.3.2.2) aktualisiert.
- Sauen: Für Niedersachsen wurde für die Jahre 20152020 die Anzahl der Ferkel pro Sau und Jahr korrigiert (vermindert).
- Mastschweine: Für den Futterkennwert Rohproteingehalt des Mastschweinefutters lagen die Ergebnisse aus der Zusatzerhebung „Proteineinsatz in der Schweinemast“ des statistischen Bundesamtes für das Jahr 2020 vor (Statistisches Bundesamt, 2022g). Durch Interpolation verringern sich die Rohproteingehalte und damit auch die N-Ausscheidungen der Mastschweine zurück bis zum Jahr 2011. Für Niedersachsen wurde für die Jahre 2018 und 2019 die Zuwachsraten und für das Jahr 2019 das Endgewicht korrigiert.
- Masthähnchen: Die Extrapolation der Eingangsgröße „Gesamt-Bruttoschlachtfleischmenge“ für 2020 wurde mithilfe von Daten des Statistischen Bundesamtes ersetzt.
- Legehennen: Einführung von Weide-Emissionen für Legehennen, da mit Hilfe einer Expertenschätzung von KTBL (Grebe & Eurich-Menden, 2022) der Anteil der Ausscheidungen von Freilandlegehennen auf der Weide abgeschätzt werden konnte. Auf Grundlage von Ergebnissen der LZ2020 wurde ein neuer NH_3-Emissionsfaktor für Bodenhaltung für 2020 abgeleitet (für die Jahre 2011-2019 ergeben sich neue Emissionsfaktoren durch lineare Interpolation). Der NH_3-Emissionsfaktor für Freilandhaltung entspricht jetzt, für die Zeit, die nicht auf der Weide zugebracht wird, dem NH_3-EF für Bodenhaltung,

Tabelle 213 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. 2.4.1 in Rösemann et al. (2023). Zur Berechnung der mittleren Tiergewichte von übrigen Rindern, Schweinen und Geflügel siehe ebenfalls Kap. 2.4.1 in Rösemann et al. (2023).

Tabelle 213: Mittlere Tiergewichte (3.A, 3.B)

[kg Tier-1]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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	600,8
übrige Rinder	316,3	328,6	338,1	334,9	337,1	334,4	333,4	334,4	333,9	335,3	335,6	336,1	337,7	340,5	342,2	342,4
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	64,3
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	1,69	1,69

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. 2.4.1 in Rösemann et al. (2023).

Tabelle 214 zeigt die für Deutschland gemittelte tägliche Milchleistung bei Milchkühen, die der jährlichen Milchleistung dividiert durch 365 Tage entspricht. Die geringfügige Abweichung im Jahr 2020 gegenüber dem NIR 2022 ist eine Folge der oben erwähnten Aktualisierung der Milchleistungsdaten.

Tabelle 214: 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	2021
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	23,16	23,25

Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Mutterkühen, Sauen, Aufzuchtferkeln und Mastschweinen wird die Aufnahme der Gesamtenergie (GE) leistungsabhängig berechnet. Siehe dazu Kapitel 2.4.5 in Rösemann et al. (2023). Die Berechnung beruht auf dem IPCC-Konzept (IPCC (2006c 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. 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 Kapitel 2.4.5 in Rösemann et al. (2023). Für die übrigen Tierkategorien (Schafe, Ziegen, Pferde, Geflügel) wird keine GE-Aufnahme ermittelt.

Tabelle 215 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 215: 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	2021
Milchkühe	241,3	264,0	283,0	298,8	307,5	310,5	312,5	312,1	316,0	318,9	322,3	322,5	329,4	336,7	342,5	343,4
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	111,4
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	36,0	36,3	36,8

Tabelle 216 bis Tabelle 218 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 Kapitel 2.4.6 in Rösemann et al. (2023) verwiesen. 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 216: Tägliche Trockenmasseaufnahme

[kg $^{-1}$ Platz^{-1} d^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Milchkühe	13,20	14,44	15,47	16,32	16,75	16,91	17,00	16,97	17,18	17,33	17,51	17,52	17,89	18,28	18,59	18,64
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	6,08
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	2,24

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 217 und Tabelle 218 angegebenen Werte von den entsprechenden Tabellen im NIR 2022 sind eine Folge der weiter oben genannten leistungs- und fütterungsbedingten Änderungen.

Tabelle 217: Verdaulichkeit von organischer Substanz im Futter (3.A)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Milchkühe	75,5	75,4	75,5	75,8	75,7	75,7	75,7	75,6	75,6	75,7	75,7	75,7	75,8	75,9	75,9	76,0
übrige Rinder	74,5	74,3	74,1	74,2	74,1	74,1	74,1	74,1	74,1	74,1	74,1	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	84,3

Tabelle 218: Aschegehalt des Futters

[kg kg^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Milchkühe	0,084	0,084	0,083	0,082	0,078	0,078	0,077	0,076	0,076	0,076	0,075	0,075	0,075	0,075	0,074	0,074
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	0,087	0,087	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	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 Kapitel 4.1.2 in (Rösemann et al., 2023) beschrieben.

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 16.3.2, Tabelle 510).

Tabelle 219 zeigt die Zeitreihen der N-Ausscheidungen. Die nicht angegebene N-Ausscheidung der Ziegen ist zeitlich konstant (11,0 kg Platz^{-1} a^{-1}). Bedingt durch die in Kapitel 5.1.3.3 erwähnten Änderungen ergeben sich für Rinder im Vergleich zum NIR 2022 leicht abweichende N-Ausscheidungen. Die N-Ausscheidungen der Schweine haben sich durch die Aktualisierung der Rohproteingehalte des Futters der Mastschweine seit 2011 vermindert, wie in Kapitel 5.1.3.3 beschrieben. Die Aktualisierung der Brutto-Schlachtfleischmenge der Masthähnchen führt in 2020 zu geringfügig höheren N-Ausscheidungen beim Geflügel als im NIR 2022.

Tabelle 219: 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	2021
Milchkühe	92,0	97,9	103,8	108,9	110,2	110,9	111,2	110,7	111,6	112,8	114,1	113,8	116,1	119,1	121,4	121,9
übrige Rinder	37,9	39,9	41,3	41,2	42,1	42,0	42,0	42,2	42,2	42,5	42,5	42,7	42,9	43,4	43,7	43,8
Schweine	13,0	13,4	13,2	13,0	12,8	12,7	12,7	12,6	12,6	12,7	12,7	12,6	12,6	12,5	12,4	12,6
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	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	48,9
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	0,66

Tabelle 220 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 2022 sind vor allem auf die Neuinterpolation der Daten aus der Landwirtschaftszählung 2020, die neuen Rohproteingehalte des Mastschweinefutters und die Einführung von Weidegang bei den Legehennen zurückzuführen, siehe Kapitel 5.1.3.3.

Tabelle 220: 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	2021
insgesamt	1555,1	1336,2	1301,0	1254,0	1246,6	1248,6	1265,4	1277,5	1289,6	1286,3	1275,4	1267,2	1244,9	1232,0	1218,8	1184,5
güllebasiert [a]	870,5	820,1	803,0	739,9	634,3	615,7	618,7	606,7	611,0	609,6	609,8	607,2	600,1	600,5	593,1	566,4
strohbasiert [b]	423,1	292,6	283,7	281,2	279,1	272,2	268,9	263,8	257,3	248,3	237,9	229,0	219,5	210,3	206,4	204,3
Tiefstreu [a]	48,4	49,9	53,6	61,6	68,1	70,3	74,8	80,5	85,5	88,9	92,7	95,7	98,1	101,1	98,8	96,4
Vergärung	0,04	0,56	4,8	32,4	132,6	161,7	175,4	198,4	207,3	211,1	208,6	210,8	205,2	199,8	202,0	201,0
Weidegang	213,1	173,0	155,9	138,9	132,5	128,7	127,4	128,1	128,6	128,4	126,4	124,5	122,0	120,3	118,5	116,4

[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. 4.1.1 in Rösemann et al. (2023).

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. 4.1.1 in Rösemann et al. (2023): 0,029 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 221 dargestellt. Bei den Milchkühen zeigen sich, bedingt durch die in Kapitel 5.1.3.3 erwähnte Korrektur des Modells leichte Abweichungen von den VS-Ausscheidungen gegenüber dem NIR 2022.

Tabelle 221: 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	2021
Milchkühe	2,96	3,26	3,47	3,63	3,75	3,79	3,81	3,82	3,87	3,90	3,93	3,94	4,01	4,08	4,14	4,15
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	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	0,34
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	0,025

Tabelle 222 zeigt die täglichen VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde. Siehe dazu Rösemann et al. (2023), Kapitel 4.1.1. 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 222: Tägliche VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde (3.B(a))

[kg Platz^{-1} d^{-1}]	*VS*	Mittelwert 2021
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. 2.5 in Rösemann et al. (2023) detailliert beschrieben. Für die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen auf Deutschland-Ebene wird auf Kapitel 16.3.2 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. Änderungen im Vergleich zum NIR 2022 sind vor allem auf die veränderte Interpolation der Daten der Landwirtschaftszählung 2020 und die Einführung von Weideemissionen bei Legehennen zurückzuführen, siehe Kapitel 5.1.3.3.

Weitere Änderungen gegenüber dem NIR 2022 gehen auf Aktualisierungen der Eingangsdaten für die Wirtschaftsdünger-Vergärung zurück siehe Kapitel 5.1.3.6.5.

Tabelle 223: 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	2021
Milchkühe	53,1	69,5	72,1	70,0	59,6	57,0	56,4	54,8	54,7	55,2	56,2	56,3	57,2	58,5	58,1	57,9
übrige Rinder	58,0	55,1	51,3	44,4	35,3	34,0	33,7	33,1	32,8	32,8	33,0	32,8	33,2	33,4	33,2	33,2
Schweine	81,5	87,7	89,6	88,9	83,2	81,8	81,5	79,9	79,7	79,2	79,5	79,7	79,9	80,4	80,4	79,1

Tabelle 224: 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	2021
Milchkühe	26,8	15,1	14,7	15,4	14,8	13,9	13,1	12,4	11,6	10,8	10,0	9,2	8,5	7,7	7,7	7,7
übrige Rinder	19,8	18,4	19,0	21,1	22,7	21,5	20,2	18,9	17,9	16,9	15,8	14,7	13,6	12,5	12,5	12,4
Schweine	16,3	10,3	8,4	7,3	6,1	5,6	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,1	3,0	3,0
Geflügel	99,9	99,9	99,3	96,3	89,3	88,0	87,5	85,8	85,4	84,7	84,8	85,1	85,4	85,3	84,6	84,6

Tabelle 225: 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	2021
Milchkühe	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,9	1,2	1,6	1,9	2,3	2,7	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
übrige Rinder	7,3	9,6	10,9	14,1	15,8	16,5	17,3	18,1	18,9	19,5	20,4	21,1	21,9	22,7	22,6	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	1,3

Tabelle 226: 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	2021
Milchkühe	0,003	0,053	0,52	3,4	15,3	18,7	20,0	22,2	23,0	23,1	22,9	23,5	23,3	22,7	23,1	23,3
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	10,5	10,7	10,9
Schweine	0,002	0,040	0,32	2,4	9,5	11,3	12,2	14,0	14,5	15,3	15,3	15,5	15,5	15,2	15,4	16,6
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	14,3	14,3

Tabelle 227: Weide, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Milchkühe	20,0	15,2	12,5	11,2	9,8	9,6	9,3	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3	7,3	7,3
übrige Rinder	14,9	16,9	18,5	18,5	19,1	19,3	19,3	19,5	19,8	20,1	20,3	20,5	20,7	21,0	21,0	20,9
Geflügel	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	1,0	1,1	1,1

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 510 in Kapitel 16.3.2 zeigt die vom Tierhaltungsverfahren abhängigen Einstreumengen in Frischmasse. Mit einem Trockenmassegehalt von 86 % und einem N-Gehalt der Trockenmasse von 0,58 % (siehe Kapitel 4.2.1 in Rösemann et al. (2023)) ergeben sich die in Tabelle 228 nach Tierkategorien angegebenen Einstreu-N- Mengen.

Geringfügige Abweichungen vom NIR 2022 bestehen bei allen Tierkategorien außer Schafen, Ziegen und Pferden. Der Grund dafür ist vor allem die veränderte Interpolation der Daten der Landwirtschaftszählung 2020, siehe Kapitel 5.1.3.3.

Tabelle 228: 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	2021
gesamt	**52,6**	**40,5**	**38,6**	**38,3**	**39,4**	**39,0**	**39,2**	**39,9**	**40,3**	**40,1**	**39,7**	**39,5**	**38,9**	**38,4**	**37,5**	**36,8**
Milchkühe	17,2	7,6	7,1	6,7	6,7	6,6	6,6	6,6	6,6	6,5	6,3	6,2	5,9	5,7	5,6	5,5
übrige Rinder	24,0	21,1	21,5	21,4	23,3	22,9	23,2	23,8	24,3	24,4	24,4	24,3	24,0	23,7	22,9	22,4
Schweine	3,18	1,78	1,56	1,38	1,15	1,12	1,10	1,05	1,03	0,95	0,92	0,89	0,83	0,78	0,78	0,71
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	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	0,08
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	6,06
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	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 229 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 (2006c): Vol. 4)-Default-Wert der Legehennen angenommen. Für B_o bei Gänsen wird nach Kap. 4.4.1.1 in Rösemann et al. (2023) 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 230 zeigt.

Tabelle 229: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o (3.B(b))

[m^3 kg^{-1}]	B_o	Quelle
Rinder	0,23	(Dämmgen, Amon, et al., 2012)
Schweine	0,30	(Dämmgen, Amon, et al., 2012)
Schafe	0,19	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Ziegen	0,18	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Pferde	0,30	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Legehennen	0,39	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Masthähnchen	0,36	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Enten	0,36	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Puten	0,36	(IPCC, 2006c Vol 4, 10.82)
Junghennen	0,39	Annahme (siehe Text)
Gänse	0,36	Kap. 4.4.1.1 in Rösemann et al. (2023)

Tabelle 230: Maximale Methan-Bildungskapazität B_o für Geflügel (3.B(b))

[m³ kg⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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	0,372	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 Wirtschaftsdünger-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 231 sind die MCF-Werte für Rinder nach den in Deutschland gebräuchlichen Lagerungsverfahren dargestellt. Die von Dämmgen, Amon, et al. (2012) 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 (2006c Vol 4, 10.44) übernommen.

Tabelle 231: 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 232 zeigt die Methan-Umwandlungsfaktoren MCF für die Wirtschaftsdüngerlagerung in der Schweinehaltung. Wie bei den Rindern handelt es sich um nationale Werte (Dämmgen, Amon, et al., 2012), Defaultwerte aus IPCC (2006c Vol 4, 10.44) IPCC (2006c)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 232: 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 233 zeigt.

Tabelle 233: 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	2021
Milchkühe	14,3	14,0	14,0	14,3	14,8	14,9	14,8	14,8	14,8	14,8	14,7	14,7	14,6	14,6	14,6	14,6
übrige Rinder	14,6	14,4	14,6	14,8	15,0	15,0	15,0	15,0	14,9	14,9	14,9	14,8	14,8	14,7	14,7	14,7
Schweine	24,7	23,7	23,6	22,8	22,2	22,4	22,5	22,6	22,6	22,7	22,8	22,9	23,0	23,0	23,1	23,1

Für die Wirtschaftsdüngerlagerung der übrigen Tiere (Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel) werden Defaultwerte aus IPCC (2006c Vol 4, 10.44)verwendet (siehe Tabelle 234).

Tabelle 234: 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 (2006c, 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. 2.6 und 4.4 in Rösemann et al. (2023)). Die Zeitreihen der Aktivitätsdaten wurden durch 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. (2022) 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. (2022) leiteten 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 2022 aktualisiert.

Tabelle 235 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 244 NIR 2022 sind im Wesentlichen eine Folge der Änderungen der mit dem Inventar berechneten N-Ausscheidungen.

Tabelle 235: 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	2021
insgesamt	**0,003**	**0,048**	**0,42**	**2,9**	**11,9**	**14,4**	**15,4**	**17,3**	**17,9**	**18,2**	**18,2**	**18,4**	**18,3**	**18,0**	**18,4**	**18,8**
Rindergülle	0,005	0,066	0,60	4,2	18,3	22,4	23,9	26,3	27,1	27,4	27,1	27,6	26,8	25,9	26,5	**27,0**
Rindermist	0,001	0,015	0,13	0,9	3,2	4,0	4,4	4,8	5,0	5,2	5,3	5,5	5,4	5,5	5,7	**5,8**
Schweinegülle	0,003	0,045	0,36	2,6	10,3	12,2	13,1	15,1	15,5	16,3	16,3	16,4	16,4	16,1	16,3	**17,6**
Geflügelmist	0,004	0,057	0,44	3,3	10,2	11,5	11,9	13,6	13,9	14,6	14,5	14,3	13,9	13,9	14,6	**14,6**

Die Daten aus Tabelle 235 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. 4.4.1.2 in Rösemann et al. (2023).

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 $0 \le \mu_{rg} \le 1$ m³ m^{-3})
L_{dig}	relative Leckagerate des Fermenters, bezogen auf die im Fermenter produzierte CH_4-Menge (mit $0 \le L_{dig} \le 1$ m³ m^{-3})
$MCF\%_{residues}$	MCF für das Gärrestelager (in %)

Tabelle 236 zeigt die Methan-Umwandlungsfaktoren $MCF\%_{ps}$ für das Vorlager. Zur Ableitung siehe Kap. 2.6 in Rösemann et al. (2023).

Tabelle 236: 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., 2022) wurde die auf B_o bezogene potentielle CH_4-Restgasmenge μ_{rg} mit 4,6 % (bzw. 0,046 m³ m^{-3}) angesetzt, siehe Kap. 2.6 in Rösemann et al. (2023).

Die Leckagerate des Fermenters L_{dig} 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 m³ m^{-3} angesetzt (Grebe et al., 2022). 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 237 zeigt den Anteil gasdichter Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten der gesamten Wirtschaftsdünger-Gärrestelagerung in Prozent des eingesetzten N. Diese Daten wurden durch Grebe et al. (2022) 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 2020 wurden gegenüber Submission 2022 aktualisiert; dadurch ergibt sich eine um rund 0,5 Prozentpunkte höhere Verbreitung der gasdichten Abdeckung. Für 2021 wurden mangels Daten die Werte von 2020 beibehalten.

Tabelle 237: 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	2021
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	63,3	63,3
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	36,7	36,7

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 238: 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	2021
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	2,79
übrige Rinder	2,98	2,89	2,84	2,78	2,66	2,64	2,59	2,58	2,57	2,56	2,56	2,56	2,55	2,55	2,54	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	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	1,30	1,30

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 239 zeigt, welche N_2O-Emissionen für die verschiedenen Teilsysteme und Wirtschaftsdünger im Inventar berücksichtigt werden. Zu Details siehe Kap. 4.3.2.2 und 4.4.2.2 in Rösemann et al. (2023).

N_2O-, und NO-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden als Folge der Ausbringung der Gärreste werden in Kapitel 5.5 beschrieben.

Tabelle 239: 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})
$N_{excr, dig}$	Anteil der jährlichen N-Ausscheidung im Stall, der in die Vergärung geht (in kg a^{-1})
$N_{straw, dig}$	Anteil des jährlichen N-Eintrags durch Einstreu, der in die Vergärung geht (in kg a^{-1})
$EF_{N2O-N, dig, ps}$	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

$$E_{N2O-N,dig,ngts} = (1 - x_{gts}) \cdot N_{tot,dig,ferm} \cdot EF_{N2O-N,dig,ngts}$$

mit

$E_{N2O-N, dig, ngts}$	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})
$N_{tot, dig, ferm}$	Gesamte Gärreste-N-Menge beim Verlassen des Fermenters (in kg a^{-1})
$EF_{N2O-N, dig, ngts}$	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 240 hervor. Zu ihrer Ableitung wird auf Kap. 2.6 in Rösemann et al. (2023) verwiesen.

Tabelle 240: N_2O-N-Emissionsfaktoren für Vorlager und Gärrestelager

	[kg kg^{-1}]	Mist	Geflügelkot
Vorlager	$EF_{N2O-N, dig, ps}$	0,001	0,0001
Gärrestelager, nicht gasdicht	$EF_{N2O-N, dig, ngts}$	0,005	0,005

Die N-Menge in den Gärresten zu Beginn der Lagerung ($N_{tot, dig, ferm}$) 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. 4.3.2.2 in Rösemann et al. (2023) , 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. 4.3.1.2 und 2.6 in Rösemann et al. (2023) 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., 2022).

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. 5.1 und 2.6 in Rösemann et al. (2023).

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 241. Die zugrunde liegenden Substratmengen wurden im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung abgeleitet und bereitgestellt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Die Daten für 2020 wurden gegenüber dem NIR 2022 durch (Grebe et al., 2022) aktualisiert. Dabei ergab sich eine minimale Erhöhung in 2020. Mangels Daten für 2021 wurden die Werte von 2020 beibehalten.

Tabelle 241: 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	2021
	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	20.551	20.551

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 242.

Tabelle 242: 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	2021
	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	19.462	19.462

Mithilfe des mittleren N-Gehaltes erhält man die für die Berechnung von N-Emissionen benötigten N-Mengen, siehe Tabelle 243.

Tabelle 243: 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	2021
	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	304,2	304,2

Die Leckageraten für Fermenter und gasdichtes Gärrestelager werden nach Grebe et al. (2022) wie bei der Vergärung von Wirtschaftsdünger angesetzt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5).

Tabelle 244 zeigt den Anteil der gasdichten Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in Prozent der eingesetzten Frischmasse (Grebe et al., 2022). Gegenüber Submission 2022 wurden die Daten für 2020 aktualisiert. Da für 2021 keine Daten für die Häufigkeit einer gasdichten Abdeckung verfügbar waren, wurde der Wert von 2020 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 237). 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 244: 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	2021
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	65,8	65,8
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	34,2	34,2

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 (für das Jahr 2019), siehe Kapitel 16.3.2, Tabelle 512.

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 2023 werden erstmals Emissionen aus der Ausbringung von Abfall-Gärresten und Komposten aus Bioabfall und Grünabfall im Sektor Landwirtschaft berichtet. Sie werden mit den Emissionen aus der Ausbringung von Energiepflanzen-Gärresten unter CRF 3.D.2.c als „sonstige organische Dünger" zusammengefasst. Es werden Tier-2-Emissionsfaktoren für direkte N_2O-Emissionen aus der Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und sonstigen organischen Düngern 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 5.5.2.1.1 dargestellt. Für N_2O-Emissionen aus Mineralisierung von organischer Substanz in Mineralböden und Weidegang werden weiterhin die Tier-1-Emissionsfaktoren aus IPCC (2006c) 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)

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 2020; für 2021 gewichtetes Mittel aus 2020 mit Wichtung 1/3 und 2021 mit Wichtung 2/3). Dieses Vorgehen folgt dem Beispiel von Österreich (Mittelung über zwei Jahre) und Frankreich (Mittelung über drei Jahre) (UNFCCC, 2022b).

Die N-Menge im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger wird mit Hilfe des N-Fluss-Konzepts (siehe Kapitel 4.2 in Rösemann et al. (2023)) berechnet, siehe Tabelle 245. Die ausgewaschenen N-Mengen beziehen sich auf Auswaschung im Rahmen der Feldrandlagerung von Festmist. Diese wird in der vorliegenden Submission erstmalig berichtet, siehe Kapitel 5.1.5.1.5 (IPCC, 2019a; LAWA, 2019).

Tabelle 245: 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	2021
N-Ausscheidungen [a]	1342,0	1163,2	1145,1	1115,1	1114,2	1119,9	1137,9	1149,5	1161,0	1157,9	1149,0	1142,8	1122,9	1111,7	1100,3	1068,0
+ Einstreu-N [b]	52,6	40,5	38,6	38,3	39,4	39,0	39,2	39,9	40,3	40,1	39,7	39,5	38,9	38,4	37,5	36,8
- (NH_3-N + NO-N) [c]	-244,4	-201,5	-200,4	-200,6	-197,1	-196,6	-198,9	-198,8	-198,9	-196,4	-193,3	-191,5	-185,8	-182,1	-178,8	-172,0
- 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	-4,1	-4,0
- N_2 [e]	-15,8	-14,2	-13,8	-13,8	-13,6	-13,3	-13,1	-13,1	-13,2	-13,1	-13,0	-12,9	-12,6	-12,5	-12,3	-11,9
- N ausgewaschen	-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	0,0	0,0	0,0
Ergebnis	**1129,1**	**983,2**	**964,8**	**934,4**	**938,3**	**944,4**	**960,7**	**973,0**	**984,8**	**984,1**	**978,1**	**973,6**	**959,1**	**951,3**	**942,6**	**916,9**

[a] Gesamt-N-Ausscheidungen nach Abzug der Ausscheidungen beim Weidegang, siehe Tabelle 220 im vorliegenden NIR (entspricht der Summe der Zeile 38 in CRF Table 3.B(b))

[b] siehe Tabelle 228 im vorliegenden NIR

[c] siehe Zelle O37 in CRF Table 3.B(b)

[d] siehe Tabelle 286 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 Rösemann et al. (2023), Kapitel 4.2.4)

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-Mengen in Gärresten aus Abfall, Kompost aus Bioabfall und Kompost aus Grünabfall wurden aus der Abfallstatistik des statistischen Bundesamtes abgeleitet.

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 2021 keine Daten verfügbar waren, wurde der Wert von 2020 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 das Statistische Bundesamt (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. 2.8.6 und 5.3.1 in Rösemann et al. (2023) .

Die Ermittlung der N-Mineralisierung in mineralischen Ackerböden ist im vorliegenden NIR in Kapitel 6 beschrieben (siehe Kapitel 6.1.2.7, 6.4.2.7.3 und 6.5.2.3.2).

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 N-Mengen in Gärresten aus Abfall, Kompost aus Bioabfall und Kompost aus Grünabfall liegen nur auf Deutschlandebene vor. In einem ersten Schritt wurden sie entsprechend der Bevölkerungszahl auf die Bundesländer verteilt und anschließend innerhalb der Bundesländer entprechend der landwirtschaftlichen Fläche auf die NUTS-3-Regionen verteilt.

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 49 dargestellt.(Mathivanan et al., 2021)

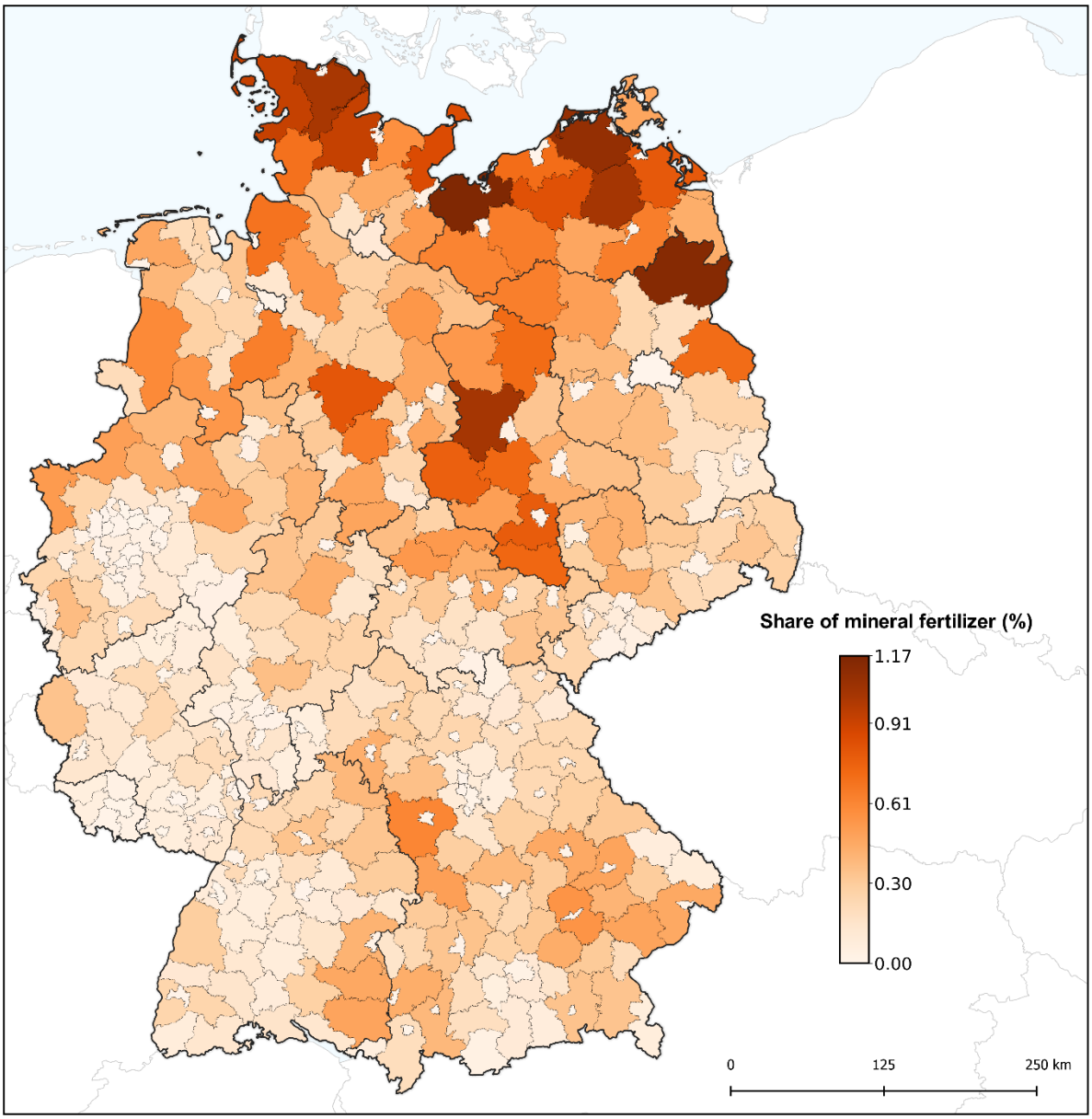


Abbildung 49: Anteil der NUTS-3 Regionen am nationalen Mineraldüngeraufkommen im Mittel der Jahre 2014-2016.

Bei folgenden Eingangsdaten, N-Mengen, die der Berechnung der direkten N_2O-Emissionen zugrunde liegen, ergaben sich Änderungen im Vergleich zur Submission2022:

- **Landwirtschaftszählung 2020:** Anders als in Submission 2022 wurden die Ergebnisse für das Jahr 2019 statt für das Jahr 2020 als wahr angenommen, dadurch ändern sich durch Interpolation erhaltene Daten für Anteile von Haltungsverfahren, von Lagerungs- und von Ausbringungsverfahren für Wirtschaftsdünger und von Weidegang geringfügig, teilweise bis zurück in das Jahr 2000. Erstmals liegen Daten zum Anteil der Feldlagerung von Rinder- und Schweinemist vor, daher wird auch erstmals Auswaschung von N aus der Wirtschaftsdüngerlagerung berichtet.
- **Energiepflanzen-Gärreste:** Für die Jahre 2019 und 2020 wurde die Gesamtmasse der vergorenen Energiepflanzen gegenüber dem NIR 2022 aktualisiert, siehe Kapitel 5.1.4.2. Dabei ergab sich ein leichter Anstieg.

- **Gärreste aus Abfall, Kompost aus Biobfall, Kompost aus Grünabfall:** Emissionen aus der Ausbringug werden erstmalig im Sektor Landwirtschaft berichtet.
- **Klärschlämme:** Die im NIR 2022 für das Jahr 2020 extrapolierte Klärschlammmenge wurde durch Werte der offiziellen Statistik ersetzt.
- **Weidegang:** Die N-Mengen sind in allen Jahren leicht anders als im NIR 2022. Dies resultiert vor allem aus der Berücksichtigung von Weidegang bei Legehennen aber auch aus der Neuinterpolation der Zahlen zum Weidegang aus der Landwirtschaftszählung 2020.
- **Ernterückstände:** In allen Jahren ab 2000 ändert sich die N-Menge geringfügig. Dies resultiert vor allem aus der Neuinterpolation der Zahlen aus der Landwirtschaftszählung 2020.
- **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 doppelt so hoch hoch wie die Werte in Submission 2022.
- **Bewirtschaftete organische Böden:** Aktualisierung Flächen und Emissionen, ab 1990.

Tabelle 246 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 246: 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	2021
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	1326,6	1301,0
Wirtschaftsdünger incl. W.- Gärreste	1129,1	983,2	964,8	934,4	938,3	944,4	960,7	973,0	984,8	984,1	978,1	973,6	959,1	951,3	942,6	916,9
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	299,4	299,4
Gärreste aus Abfall	0,0	0,0	1,6	5,0	10,5	10,9	11,0	11,8	13,9	15,1	14,0	13,8	14,0	13,8	13,4	13,0
Kompost aus Bioabfall	4,5	19,5	31,9	28,8	22,6	23,9	23,9	21,8	23,6	22,6	23,3	21,9	25,1	24,3	25,4	25,5
Kompost aus Grünabfall	1,1	4,9	7,7	9,5	11,3	11,3	12,4	10,8	13,2	13,7	14,3	14,9	14,9	15,9	16,7	16,8
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	12,5	12,5
Weidegang	213,1	173,0	155,9	138,9	132,5	128,7	127,4	128,1	128,6	128,4	126,4	124,5	122,0	120,3	118,5	116,4
Ernterückstände	485,3	498,3	560,4	586,8	572,4	560,0	604,6	604,6	688,8	605,7	588,5	620,5	499,0	558,7	574,5	587,8
Mineralisierung	5,6	5,4	5,3	4,7	4,1	4,0	4,0	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2

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 247 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 2022.

Tabelle 247: Flächen der bewirtschafteten organischen Böden (3.D)

[1000 ha]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
insgesamt	**1297,4**	**1299,1**	**1300,9**	**1300,8**	**1291,8**	**1290,1**	**1288,4**	**1286,7**	**1285,1**	**1283,4**	**1281,1**	**1278,9**	**1276,7**	**1274,5**	**1272,3**	**1268,1**
Acker	333,1	326,8	320,4	332,4	334,8	338,1	341,4	344,6	347,9	351,2	347,1	343,0	338,9	334,8	330,7	329,0
Grünland	964,3	972,4	980,4	968,4	957,0	952,0	947,1	942,1	937,1	932,2	934,1	935,9	937,8	939,7	941,5	939,2

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 die Ausbringung von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten,Klärschlamm und sonstigen organischen Düngern (Energiepflanzen-Gärreste, Gärreste aus Abfall, Kompost aus Bioabfall, Kompost aus Grünabfall).

Tabelle 248 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. Gegenüber der Submission 2022 sind die Mengen im Sektor 3 B geringer, hauptsächlich da eine Korrektur im Bereich der Wirtschaftsdüngerlagerung durchgeführt wurde: Bei der Haltung auf Tiefstreu wurden bisher NH_3-Emissionen sowohl im Stall als auch für eine anschließende Lagerung auf dem Misthaufen berechnet. Es ist aber davon auszugehen, dass der Festmist aus der Tiefstreuhaltung direkt nach dem Ausmisten ausgebracht wird und keine weitere Lagerung auf dem Misthaufen stattfindet. Daher werden seit der Submission 2023 keine NH_3 Emissionen aus dem Lager für diese Haltungsform mehr berechnet. Entsprechende Daten für den Sektor 3.D sindTabelle 249 zu entnehmen. Unterschiede in beiden Tabellen gegenüber Submission 2022 sind eine Folge der weiter oben im Zusammenhang mit Tabelle 246 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. Hier ist die Menge aus Wirtschaftsdünger gegenüber der Submission 2022 in allen Jahren höher, was vorwiegend auf die zuvor genannte Korrektur im Bereich des Haltungsverfahrens Tiefstreu zurückzuführen ist.

Tabelle 248: 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	2021
3.B, Wirtschaftsdünger incl. W.- Gärreste	244,4	201,5	200,4	200,6	197,1	196,6	198,9	198,8	198,9	196,4	193,3	191,5	185,8	182,1	178,8	172,0
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	2,7	2,7

Tabelle 249: 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	2021
3.D, insgesamt	**364,5**	**303,2**	**307,6**	**295,2**	**314,1**	**320,3**	**324,9**	**330,7**	**338,5**	**340,0**	**337,1**	**322,0**	**304,1**	**289,7**	**259,8**	**255,4**
3.D, Wirtschaftsdünger, W.- Gärreste, Mineraldünger, Weide	364,2	302,0	304,5	283,6	277,9	275,7	278,3	277,3	284,3	285,8	284,4	271,0	254,6	241,0	210,8	206,4
3.D, Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,1	1,1	8,9	32,7	41,0	43,0	49,7	50,1	50,1	48,9	47,2	45,6	44,7	45,1	45,1
3.D Abfall-Gärreste, Kompost	0,3	1,1	2,1	2,6	3,5	3,6	3,7	3,7	4,1	4,1	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9

5.1.5.1.5 Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)

Für den Sektor 3.B wird die Berechnung der N_2O-Emissionen aus Auswaschung und Oberflächenabfluss zum ersten Mal durchgeführt, da erstmals aus der LZ2020 Daten zur Feldlagerung von Mist zur Verfügung stehen. Nur für diesen Anteil der Mistlagerung wird Auswaschung angenommen, da für alle anderen Arten der Lagerung eine Auswaschung durch die baurechtlichen Vorgaben verhindert wird Laut der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2019) muss ein Feldrandlager nach spätestens vier Wochen eine wasserdichte Abdeckung erhalten. Eine Auswaschung von N tritt also nur in den ersten vier Wochen der Lagerung auf. Der ausgewaschene Anteil der gelagerten N-Menge ($Frac_{LEACHMS}$) wird mit Hilfe von (IPCC, 2019a) berechnet, siehe Kap. 4.4.3 in Rösemann et al. (2023) und beträgt 0.00333 kg kg^{-1}.

Für die Berechnung der N_2O-Emissionen aus Auswaschung und Oberflächenabfluss für den Sektor 3.D wird im Einklang mit IPCC (2006c): Vol. 4 die Summe des Stickstoffs in den ausgebrachten Mengen von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten, Klärschlamm und sonstigen organischen Düngern (Energiepflanzen-Gärreste, Gärreste aus Abfall, Kompost aus Bioabfall, Kompost aus Grünabfall) sowie die durch Weidegang und Mineralisierung zur Verfügung stehenden N-Mengen als Gesamtaktivitätswert verwendet. Zu Details siehe Kap. 5.3.2.1 in Rösemann et al. (2023).Nur ein Teil dieser verfügbaren N-Menge wird ausgewaschen. Das Verhältnis zur verfügbaren N-Menge wird durch die Größe $Frac_{LEACH}$ beschrieben (siehe IPCC (2006c Vol 4, 11.21)). Deutschland verwendet für $Frac_{LEACH}$ den IPCC-Defaultwert 0,30 kg kg^{-1} (IPCC (2006c Vol 4, 11.21)).

Das Kriterium für die Anwendung dieser Werte für $Frac_{LEACHMS}$ und $Frac_{LEACH}$ ist die Überschreitung der Bodenwasserhaltekapazität, siehe (IPCC (2006c 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 berechneten Mengen an ausgewaschenem Stickstoff sind in Tabelle 250 wiedergegeben. Unterschiede gegenüber Submission 2022 bei 3.D sind eine Folge der in Kapitel 5.1.5.1.2 im Zusammenhang mit Tabelle 246 beschriebenen Aktualisierungen von Eingangsdaten.

Tabelle 250: Sektoren 3.B und 3.D: 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	2021
3.B	0,12	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
3.D	1217,6	1032,0	1105,4	1072,7	1055,5	1074,3	1106,8	1112,2	1165,3	1149,1	1139,4	1111,3	1032,2	1019,1	999,4	986,8

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 (2006c Vol 4, Chapter 11.3) neben den Emissionen aus der Landwirtschaft auch die aus der Kalkung im Forstbereich IPCC (2006c).

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 251 zeigt die den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Kalkdüngermengen für Landwirtschaft und Forst zusammen, siehe Kap. 2.8.1 in Rösemann et al. (2023). Die Abweichung der Daten für 2020 gegenüber Submission 2022geht auf die Einbeziehung der Daten von 2021 in das übergreifende Mittel zurück.

Tabelle 251: Düngekalkmengen (3.G & 3.I)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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	4455,0	4438,5
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	104,0	112,1
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	421,5	414,0

Die Berechnung von CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung erfolgt proportional zu den in Tabelle 252 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 252: 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	2021
	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	590,8	544,7

5.1.5.3 NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen

Tabelle 253 zeigt exemplarisch für erstes und letztes Zeitreihenjahr die Eingangsdaten, die für die NMVOC-Emissionsberechnung für landwirtschaftliche Kulturen nach EMEP/EEA (2019b -3D-16) und EMEP/EEA (2019b -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 (2019b -3D-16)) entnommen und sinngemäß auf die übrigen Kulturen übertragen.

Tabelle 253: 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	2021	1990	2021		
Weizen	2419,9	2901,5	6,3	7,3	0,86	0,3
Roggen	1067,1	631,1	3,8	5,3	0,86	0,3
Gerste	2612,5	1539,6	5,4	6,8	0,86	0,3
Hafer	533,5	184,871	4,4	4,3	0,86	0,3
Triticale	77,3	313,097	5,1	5,9	0,86	0,3
Getreide zur Ganzpflanzenernte	0,0	107,7	0,0	30,4	0,35	0,3
Körnermais	228,4	430,634	6,8	10,4	0,86	0,3
Silomais	1365,4	2219,615	40,4	47,2	0,28	0,3
Raps	557,5	996,764	3,0	3,5	0,91	0,3
Hackfrüchte	1249,6	648,7	40,6	66,6	0,22	0,3
Kleegras, Alfalfa, Futtergras	856,6	660,3	34,0	39,4	0,20	0,5
Hülsenfrüchte	121,2	244,7	3,4	3,4	0,86	0,3
Wiesen und Mähweiden	5417,2	4482,196	31,6	33,7	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 (2006c 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 (2006c 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 (2006c 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. 6 in Rösemann et al. (2023).

Tabelle 254 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 254 zu entnehmen. Alle Emissionswerte sind in CO_2-Äquivalenten angegeben, wobei bereits die Umrechnungsfaktoren (GWP) des IPCC AR5 von 28 kg kg^{-1} für CH_4 und 265 kg kg^{-1} für N_2O zugrunde gelegt wurden.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen erfolgt die Darstellung in Tabelle 254 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 254, aber mit allen einzelnen Tierunterkategorien, findet sich in Kapitel 6.10 in Rösemann et al. (2023).

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 254 angegebenen aggregierten Unsicherheiten unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Ausbringungsbeiträge der einzelnen Tierkategorien mithilfe der Fehlerfortpflanzungsrechnung aggregiert.

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 landwirtschaftlicher Böden, Energiepflanzen-Vergärung) beträgt 23,0 % (gültig für das Jahr 2021). Die Unsicherheit des Trends 1990 –2021 liegt bei 10,2 %.

Tabelle 254: Gesamtunsicherheitsberechnung für die Emissionen des Sektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden) incl. Energiepflanzen-Vergärung (GWP nach IPCC AR5)

Source category EntFer = Enteric Fermentation MM = Manure Management DEC = Digestion of Energy Crops	Gas	Base year emissions, in CO_2 equivalents (GWP_{CH4} = 28, GWP_{N2O} = 265)	Year 2021 emissions, in CO_2 equivalents	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	19,844.4	15,114.3	4	20	20.4	29.9	0.00	0.21	0.08	1.18	1.39
EntFer, other cattle	CH_4	15,699.0	9,814.7	2.2	10.8	11.0	3.7	0.03	0.14	0.35	0.42	0.30
EntFer, pigs	CH_4	775.5	658.1	2.9	15.0	15.3	0.0	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00
EntFer, sheep	CH_4	580.4	319.8	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.05	0.06	0.01
EntFer, goats	CH_4	12.6	22.3	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
EntFer, horses	CH_4	229.1	212.1	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00
MM, dairy cows	CH_4	2,468.8	2,494.3	4	20	20.4	0.8	0.01	0.03	0.16	0.19	0.06
MM, other cattle	CH_4	2,683.8	1,548.3	2.2	11.2	11.4	0.1	0.01	0.02	0.08	0.07	0.01
MM, pigs	CH_4	3,426.6	2,621.9	2.9	16.4	16.6	0.6	0.00	0.04	0.01	0.15	0.02
MM, sheep	CH_4	25.2	13.9	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MM, goats	CH_4	0.6	1.0	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MM, horses	CH_4	43.4	40.2	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
MM, poultry	CH_4	99.8	164.1	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	849.9	623.6	4	100	100.1	1.2	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00
MM, direct N_2O, other cattle	N_2O	874.0	625.8	2.2	51.8	51.9	0.3	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00
MM, direct N_2O, pigs	N_2O	356.4	286.0	2.9	77.4	77.5	0.2	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
MM, direct N_2O, sheep	N_2O	25.4	13.9	10	100	100.5	0.0	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
MM, direct N_2O, goats	N_2O	1.4	2.6	10	100	100.5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MM, direct N_2O, horses	N_2O	53.4	49.5	10	100	100.5	0.0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
MM, direct N_2O, poultry	N_2O	32.6	54.8	6.2	52.7	53.0	0.0	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
MM, indirect N_2O, all animals (deposition)	N_2O	1017.6	716.3	40	400	402.0	26.1	0.00	0.01	0.40	0.56	0.47
MM, indirect N_2O, all animals (leaching)	N_2O	0.4	0.1	170	230	286.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soils, mineral fertilizers	N_2O	5,549.4	3,288.4	0.5	20.5	20.5	1.4	0.01	0.05	0.29	0.03	0.08
Soils, spreading of manure	N_2O	3,086.6	2,520.4	9.5	19.0	21.3	0.9	0.00	0.03	0.03	0.47	0.22
Soils, other organic fertilizers (spreading)	N_2O	15.1	954.1	8.5	34.0	35.0	0.4	0.01	0.01	0.44	0.16	0.22
Soils, sewage sludge	N_2O	71.9	29.7	20	40	44.7	0.0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Soils, crop residues	N_2O	1,221.7	1,468.3	50	40	64.0	2.8	0.01	0.02	0.29	1.43	2.13
Soils, organic soils	N_2O	3,352.6	3,281.3	0.13	245	245.0	203.7	0.01	0.05	2.30	0.01	5.27
Soils, mineralization	N_2O	23.5	13.2	11.88	200	200.4	0.0	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Soils, grazing	N_2O	1,695.0	915.9	20	200	201.0	10.7	0.01	0.01	1.10	0.36	1.33
Soils, indirect N_2O (deposition)	N_2O	1,517.8	875.8	50	400	403.1	39.3	0.00	0.01	1.66	0.85	3.48
Soils, indirect N_2O (leaching, run-off)	N_2O	3,805.7	2,804.5	170	230	286.0	202.7	0.00	0.04	0.47	9.28	86.39

Source category **EntFer = Enteric Fermentation** **MM = Manure Management** **DEC = Digestion of Energy Crops**	**Gas**	**Base year emissions, in CO_2 equivalents** **(GWP_{CH4} = 28, GWP_{N2O} = 265)**	**Year 2021 emissions, in CO_2 equivalents**	**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	1,500.2	10	20	22.4	0.4	0.02	0.02	0.41	0.29	0.26
DEC, storage, direct N_2O	N_2O	0.1	216.3	10	100	100.5	0.1	0.00	0.00	0.30	0.04	0.09
DEC, storage, indirect N_2O (deposition)	N_2O	0.0	11.1	10	400	400.1	0.0	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
DEC, soils, indirect N_2O (deposition)	N_2O	0.0	187.8	10	400	400.1	1.8	0.00	0.00	1.03	0.04	1.07
DEC, soils, indirect N_2O (leaching, run-off)	N_2O	0.0	280.5	10	230	230.2	1.3	0.00	0.00	0.89	0.05	0.79
Liming, without Dolomite	CO_2	1,849.8	1,952.9	3	3	4.2	0.0	0.01	0.03	0.02	0.11	0.01
Liming, Dolomite	CO_2	350.7	53.4	100	3	100.0	0.0	0.00	0.00	0.01	0.10	0.01
Liming, Calcium Ammonium Nitrate	CO_2	510.4	182.2	3	3	4.2	0.0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Application of urea	CO_2	481.0	399.5	1	1	1.4	0.0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Total		72,632.0	56,332.9									
					Percentage uncertainty in total inventory:		23.0			Trend uncertainty (percentage):		10.2

[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 (2006a Vol 1, 3.31, Table 3.2, column H) , has been used. Note, however, that the head of column as prescribed by IPCC (2006a 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 (2006a 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 (2006a 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 Emissionsberichterstattung 2023 folgende Änderungen vorgenommen (siehe Kapitel 1.3.6 in Rösemann et al. (2023)):

- Explizite Berücksichtigung von Weidegang bei Legehennen
- Berücksichtigung von Mistlagerung auf dem Feld bei der Berechnung von indirekten Emissionen durch Auswaschung aus dem Wirtschaftsdüngermanagement
- NH_3-Emissionen aus Tiefstreu sind durch die Stallemissionen vollständig erfasst (keine zusätzliche Lagerung auf dem Misthaufen). Dies hat Effekt insbesondere auf die indirekte Emission aus 3.B (verringert) und mit Wirtschaftsdünger ausgebrachte N-Menge in 3.D (gestiegen)
- Erstmalige Berechnung von Emissionen aus der Ausbringung von Gärresten aus Abfall, Kompost aus Bioabfall und Kompost aus Grünabfall im Sektor Landwirtschaft

Die übrigen Berechnungsverfahren stimmen mit denen der Emissionsberichterstattung 2022 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 2023 wurde auf Konsistenz mit der entsprechenden Zeitreihe der Submission 2022 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 (2006c) 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 2023 und in den CRF-Tabellen gezeigten Ergebnisse in einer EXCEL-Datei dokumentiert, die als Ergänzung zu Rösemann et al. (2023) erhältlich ist (siehe Kap. 1.3.8 in Rösemann et al. (2023)).

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 (2006c)-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[82] 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 2021 angepasst und beinhaltet nun die Abschätzung des Energiebedarfes und der Futteraufnahme auf Grundlage von Kennzahlen aus Verbands-Veröffentlichungen. Das Mutterkuhmodell wurde zur Submission 2022 dahingehend angepasst.

Für Submission 2019 fand kein Review statt.

[82] siehe Review Report, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2018_DEU.pdf

Das ERT des Submission-2020-Reviews empfahl[83] eine Verbesserung der Transparenz im NIR oder in einer ergänzenden Dokumentation hinsichtlich der Wirkungen der Wiedervereinigung auf die Entwicklung der Tierzahlen, der Berücksichtigung von Weidegang bei Schweinen, der direkten und indirekten Emissionen die aus der Ausbringung von Bioabfall entstehen.

Die ersten beiden Punkte wurden zur Submission 2022 umgesetzt. In der vorliegenden Submission 2023 werden erstmals direkte und indirekte Emissionen aus der Ausbringung von Gärresten aus Abfall, Kompost aus Bioabfall und Kompost aus Grünabfall explizit im Sektor 3.D berichtet.

In den verschiedenen Überprüfungen der Submissionen seit 2019 gemäß Artikel 19(2) der EU-Verordnung 525/2013 durch EU-Reviews waren keinerlei Änderungen an der Inventarmethodik oder an Eingangsdaten erforderlich (EEA, 2019, 2020, 2021, 2022).

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 (2006c) Guidelines (Betzenbichler et al., 2016a).

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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**3 A, Enteric Fermentation**	**dairy cows**	**CH_4**	**19.844,4**	**1,5 %**	**15.114,3**	**2,0 %**	**-23,8 %**
L/-	**3 A, Enteric Fermentation**	**non-dairy cattle**	**CH_4**	**15.699,0**	**1,2 %**	**9.814,7**	**1,3 %**	**-37,5 %**
-/-	3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH_4	1.597,6	0,1 %	1.212,2	0,2 %	-24,1 %

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.

[83] siehe Review Report, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2020 ARR of DEU_complete.pdf

Tabelle 255 zeigt die Veränderung der CH_4-Emissionen aus der Verdauung des Gesamttierbestandes 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 255: 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	2021
CH_4	-29,6	80,9	75,7
THG (CO_{2eq})		46,9	42,4

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 Mutterkühe wird ein an Milchkühe angelehntes Tier-2 Verfahren angewendet. Für sonstige Rinder und Schweine erfolgt die Berechnung mit einem Tier-2-Verfahren (IPCC, 2006c 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, Rösemann, et al., 2012) 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. 2.4.5 in Rösemann et al. (2023). 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 256 und Kapitel 5.2.2.3.

Tabelle 256: Milchkühe: Milchleistung, GE-Aufnahme, verdauungsbedingte CH_4-Emission und Methanumwandlungsfaktor (3.A)

	1990	2021
mittlere tägliche Milchleistung [kg Tierplatz^{-1} d^{-1}]	12,9	23,3
jährliche GE-Aufnahme [GJ Tierplatz^{-1} a^{-1}]	88,1	125,3
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 einem an das Milchkuhmodell angelehnten Modell (siehe (Rösemann et al., 2023), Kapitel 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 (2006c 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 257 angegeben. Aufgrund wechselnder Zusammensetzung der Gesamtpopulation variiert der gewichtete Mittelwert für alle übrigen Rinder zusammen geringfügig mit den Jahren. Tabelle 257 zeigt die Mittelwerte aller übrigen Rinder für das erste und das letzte Zeitreihenjahr.

Tabelle 257: Methan-Umwandlungsfaktoren für übrige Rinder (3.A)

	MJ MJ^{-1}	Quelle
Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Zuchtbullen	0,065	IPCC (2006c Vol 4, Table 10.12)
Mutterkühe	0,086 - 0,084	Rösemann et al. (2023), Kapitel 3.2
Kälber	0,043	Rösemann et al. (2023), Kapitel 3.2
Mittelwert aller übrigen Rinder 1990	0,0650	Berechnung
Mittelwert aller übrigen Rinder 2020	0,0666	Berechnung

Tabelle 258 zeigt die nationalen kategoriespezifischen Methanumwandlungsfaktoren für die verschiedenen Schweinekategorien (Dämmgen, Schulz, et al., 2012) 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 258: Methan-Umwandlungsfaktoren für Schweine (Dämmgen, Schulz, et al., 2012) (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 2021	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 in Rösemann et al. (2023). Tierspezifische Details finden sich ebenfalls in Kapitel 3 in Rösemann et al. (2023).

5.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.A)

Tabelle 259 zeigt die berechneten CH_4-Emissionsfaktoren pro Tierplatz für die Verdauung bei Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen.

Tabelle 259: 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	2021
Milchkühe	111,5	120,2	126,5	131,3	131,7	132,3	132,5	132,0	132,9	133,8	134,8	134,9	136,9	139,0	140,6	140,8
übrige Rinder	42,7	45,2	46,9	46,8	47,3	47,1	47,0	47,1	47,0	47,3	47,2	47,4	47,6	48,0	48,4	48,6
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	1,19

Tabelle 260 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 (2006c Vol 4, Table 10.10), entnommen. Die in IPCC (2006c Vol 4, Table 10.10)angegebenen Emissionsfaktoren für Schafe und Pferde wurden für erwachsene Schafe bzw. Großpferde übernommen, siehe Kap. 3.3 in Rösemann et al. (2023). Die Emissionsfaktoren für Lämmer und Kleinpferde/Ponys wurden aus den Tier-1-Emissionsfaktoren erwachsener Schafe bzw. der Großpferde abgeleitet, siehe Kap. 3.3 in Rösemann et al. (2023). 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 260 zeigt den Mittelwert für das letzte Zeitreihenjahr.

Tabelle 260: Tier-1-Emissionsfaktoren für CH_4 aus der Verdauung bei Schafen, Ziegen und Pferden (3.A)

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	EF	Mittelwert für 2021
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 261.

Tabelle 261: 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	2021
insgesamt	**1326,5**	**1162,4**	**1096,4**	**1019,6**	**1007,3**	**993,7**	**993,9**	**1006,5**	**1015,0**	**1014,4**	**1004,1**	**996,1**	**980,5**	**969,0**	**953,9**	**933,6**
in % von 1990	**100,0**	**87,6**	**82,7**	**76,9**	**75,9**	**74,9**	**74,9**	**75,9**	**76,5**	**76,5**	**75,7**	**75,1**	**73,9**	**73,1**	**71,9**	**70,4**
Milchkühe	708,7	628,4	578,1	556,1	551,1	554,2	555,3	563,4	570,9	573,3	568,6	566,4	561,2	557,5	551,3	539,8
übrige Rinder	560,7	481,8	467,5	411,9	408,5	392,8	391,1	396,2	396,8	394,7	389,5	383,1	373,6	366,4	357,5	350,5
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	23,5
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	11,4
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	8,4

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 2021 um rund 40 % niedriger als 1990; bei den übrigen Rindern sind es rund 45 % 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 254 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 (2006c Vol 4, 10.33). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 6.3 in Rösemann et al. (2023).

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 262 und Tabelle 263. Zum Zeitpunkt der Erstellung der deutschen Emissionsberichterstattung 2023 waren die Ergebnisse der Emissionsberichterstattung 2023 der anderen Länder noch nicht bekannt. Daher wurde für diese Länder auf Daten der Berichterstattung 2022 zurückgegriffen, während die deutschen Daten der aktuellen Berichterstattung 2023 entstammen. Der internationale Vergleich wird für 2020 durchgeführt (letztes Zeitreihenjahr in Berichterstattung 2022).

Tabelle 262 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 die Tschechische Republik 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 nur Tschechien und Polen den IPCC-Defaultwert von 6,5 % verwendet haben. Der Schweizer Wert ist deutlich höher als der IPCC-Defaultwert. Bei den restlichen Ländern liegt der Methanumwandlungsfaktor unter dem IPCC-Defaultwert, wobei der britische Wert dem IPCC-Defaultwert am nächsten kommt.

Tabelle 262: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2020

	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	130,27	0,0630	315,3	19,96
Belgien	127,61	0,0610	319,0	24,13
Tschechische Republik	159,45	0,0650	374,0	24,98
Dänemark	157,41	0,0576	415,5	28,56
Frankreich	126,61	0,0612	315,4	20,26
Deutschland	**140,59**	**0,0627**	**342,5**	**23,16**
Niederlande	136,84	0,0582	282,7	NA
Polen	120,53	0,0650	282,7	16,78
Schweiz	139,82	0,0690	309,0	23,26
Vereinigtes Königreich	123,81	0,0643	293,4	22,49
IPCC (2006c Vol 4, 10.15 bis 10.31, 10.72)[a]	117	0.065	Gleichung 10.3-10.16	16.44

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

NE, NA, n/a: keine Daten verfügbar

[a] berechnet aus der von IPCC (2006c Vol 4) angenommenen jährlichen Milchleistung von 6000 kg Platz^{-1} a^{-1}

Tabelle 263 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 34,75 kg Platz^{-1} a^{-1} (Niederlande) bis 58,95 kg Platz^{-1} a^{-1} (Tschechische Republik), 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 die Hälfte der betrachteten Länder den IPCC-Defaultwert für den IEF. Die fünf 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 Österreich, Dänemark, Deutschland und der Schweiz berichtet. Der deutsche Wert liegt nahe am dänischen Wert.

Tabelle 263: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei übrigen Rindern und Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2020

	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	54,10	144,19	0,97	30,08
Belgien	46,26	121,47	1,50	NE
Tschechische Republik	58,95	148,15	1,50	NA
Dänemark	40,87	129,71	1,05	37,65
Frankreich	52,94	124,88	0,74	NE
Deutschland	**48,44**	**110,93**	**1,18**	**36,35**
Niederlande [a]	34,75	89,63	1,50	NA
Polen	50,57	118,62	1,50	n/a
Schweiz [a]	46,76	118,72	1,01	25,57
Vereinigtes Königreich [b]	54,89	104,22	1,50	NE
IPCC (2006c)	57	Equation 10.3-10.16	1.5	Gleichung 10.3-10.16

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: andere Länder: UNFCCC (2022b)

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 264 zeigt für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine die Gesamtenergie-Aufnahme im Vergleich mit den entsprechenden Daten der Submission 2022. Die Differenzen sind gering und in der gewählten Darstellung nur für Milchkühe und Schweine am Ende der Zeitreihe sichtbar. Gründe für die Differenzen sind die in Kapitel 5.1.3.3 genannten Änderungen der Eingangsdaten bei der Modellierung der Sauen und Mastschweine sowie die geänderte Interpolation der Weidegangdaten der LZ2020. Bei den übrigen Säugetieren, d. h. Schafen, Ziegen und Pferden, geht die Gesamtenergie-Aufnahme nicht in die Emissionsberechnungen ein. Sie sind deshalb in Tabelle 264 nicht aufgeführt.

Tabelle 264: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
Milchkühe 2023	241,3	264,0	283,0	298,8	307,5	310,5	312,5	312,1	316,0	318,9	322,3	322,5	329,4	336,7	342,5
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	342,6
übrige Rinder 2023	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
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	110,9
Schweine 2023	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	36,0	36,3
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	36,4

Tabelle 265: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
Milchkühe 2023	111,5	120,2	126,5	131,3	131,7	132,3	132,5	132,0	132,9	133,8	134,8	134,9	136,9	139,0	140,6
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	140,8
übrige Rinder 2023	42,7	45,2	46,9	46,8	47,3	47,1	47,0	47,1	47,0	47,3	47,2	47,4	47,6	48,0	48,4
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	48,4
Schweine 2023	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	1,2
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	1,2

Die in Tabelle 265 (Emissionsfaktoren) und Tabelle 266 (Emissionen) zu erkennenden Abweichungen gegenüber Submission 2022 gehen ebenfalls auf die im Zusammenhang mit Tabelle 264 genannten Gründe zurück.

Tabelle 266: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
Säugetiere 2023	1,326	1,162	1,096	1,020	1,007	0,994	0,994	1,006	1,015	1,014	1,004	0,996	0,980	0,969	0,954
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	0,955
Milchkühe 2023	0,709	0,628	0,578	0,556	0,551	0,554	0,555	0,563	0,571	0,573	0,569	0,566	0,561	0,558	0,551
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	0,552
übrige Rinder 2023	0,561	0,482	0,468	0,412	0,409	0,393	0,391	0,396	0,397	0,395	0,389	0,383	0,374	0,366	0,358
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	0,358
Schweine 2023	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	0,025
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	0,025

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**3 B, Manure Management**	**dairy cows**	**CH4**	**2.468,8**	**0,2 %**	**2.494,3**	**0,3 %**	**1,0 %**
-/-	3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	2.683,8	0,2 %	1.548,3	0,2 %	-42,3 %
L/-	**3 B, Manure Management**	**swine**	**CH4**	**3.426,6**	**0,3 %**	**2.621,9**	**0,4 %**	**-23,5 %**
-/-	3 B, Manure Management	other animals	CH4	169,0	0,0 %	219,1	0,0 %	29,6 %
-/-/2	**3 B, Manure Management**	**dairy cows**	**N2O**	**849,9**	**0,1 %**	**623,6**	**0,1 %**	**-26,6 %**
-/-/2	**3 B, Manure Management**	**non-dairy cattle**	**N2O**	**874,0**	**0,1 %**	**625,8**	**0,1 %**	**-28,4 %**
-/-	3 B, Manure Management	swine	N2O	356,4	0,0 %	286,0	0,0 %	-19,8 %
-/-	3 B, Manure Management	other animals	N2O	112,8	0,0 %	120,8	0,0 %	7,0 %
-/-/2	**3 B, Manure Management**	**deposition and leaching**	**N2O**	**1.017,9**	**0,1 %**	**716,4**	**0,1 %**	**-29,6 %**

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	CS/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. Die 3.B.-Kategorien Wirtschaftsdünger-Management der Milchkühe ist für CH_4 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trendund für N_2O der Methode-2-Analyse. N_2O-Emissionen von Übrigen Rindern sowie indirektes N_2O aus Deposition ist ebenfalls zusätzlich nach der Approach-2-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), resultieren indirekte N_2O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss nur in sehr geringem Maße aus der Feldlagerung von Mist.

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 267 zeigt die zeitlichen Veränderungen der Emissionen aus dem gesamten Wirtschafts-dünger-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, 5.3.3.2.3 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.

Tabelle 267: 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	2021
$CH_{4,\,MM}$	-21,3	19,1	19,9
N_2O_{MM}, direkt	-24,5	9,3	8,6
N_2O_{MM}, indirekt	-29,6	4,3	3,7
$CH_{4,\,MM}$ + N_2O_{MM} (als THG in CO_{2eq})	-22,8	16,2	16,0
$NMVOC_{MM}$	-28,1	98,1	98,7

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}) [84]

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 16.3.2. 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 268 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 268: 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	2021
Milchkühe	13,9	18,7	20,6	21,6	20,6	20,3	20,3	20,1	20,4	20,8	21,3	21,5	22,2	23,0	23,3	23,2
übrige Rinder	7,3	7,5	7,7	7,4	6,9	6,8	6,9	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,6	7,6	7,7
Schweine	4,6	5,0	5,2	4,8	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7
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	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	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	3,1
Geflügel	0,031	0,030	0,032	0,035	0,036	0,035	0,034	0,032	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034

5.3.2.2.3 Emissionen (CRF 3.B, CH_4)

Tabelle 269 zeigt die berechneten CH_4-Gesamtemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management in absoluten sowie relativen, auf 1990 bezogenen prozentualen Werten.

Tabelle 269: 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	2021
[kt a^{-1}]	312,43	285,58	289,69	272,90	249,74	248,60	254,01	254,32	259,11	259,22	260,69	262,38	259,92	259,85	257,94	245,84
[% von 1990]	100,0	91,4	92,7	87,3	79,9	79,6	81,3	81,4	82,9	83,0	83,4	84,0	83,2	83,2	82,6	78,7

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).

[84] IPCC gibt den *MCF* in Prozent (von B_o) an; im deutschen Inventar wird die eindeutigere Einheit m^3 m^{-3} verwendet.

Tabelle 270 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 270: 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	2021
Milchkühe	88,2	97,7	94,2	91,4	86,1	85,0	85,2	85,8	87,8	89,2	90,0	90,3	91,1	92,4	91,2	89,1
übrige Rinder	95,8	80,4	76,5	65,2	59,7	57,0	57,3	58,4	59,0	59,3	59,4	58,9	58,4	58,0	56,4	55,3
Schweine	122,4	101,3	112,8	109,7	97,2	99,4	104,0	102,4	104,5	102,9	103,5	105,4	102,6	101,6	102,5	93,6
Summe	306,4	279,4	283,5	266,3	242,9	241,5	246,5	246,6	251,3	251,4	252,9	254,6	252,1	252,0	250,1	238,0
%-Anteil	98,1	97,8	97,8	97,6	97,3	97,1	97,1	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	96,8
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	1,5	1,5	1,4	1,5

Die durch Wirtschaftsdünger-Vergärung eingesparten CH_4-Emissionen gehen aus Tabelle 271 hervor. Ohne Vergärung wären sie zusätzlich zu den in Tabelle 269 angegeben Mengen emittiert worden. Die prozentualen Minderungen beziehen sich auf die Emissionen, die ohne Vergärung entstanden wären.

Tabelle 271: 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	2021
[kt a^{-1}]	-0,01	-0,08	-0,7	-6,6	-27,0	-33,4	-37,0	-42,2	-44,6	-45,5	-45,3	-46,6	-45,7	-44,6	-45,0	-44,7
[%]	-0,003	-0,03	-0,2	-2,4	-9,8	-11,9	-12,7	-14,2	-14,7	-14,9	-14,8	-15,1	-15,0	-14,6	-14,9	-15,4

5.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, CH_4)

Tabelle 254 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 (2006c Vol 4, Table 10.48). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen), siehe Kap. 6.3 in Rösemann et al. (2023).

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 2020 erhaltenen Ergebnisse und Eingangsdaten mit denen benachbarter Staaten sowie des Vereinigten Königreiches von 2020 (Submission 2022 für 2020, UNFCCC (2022b)) verglichen.

Tabelle 272 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 (21,4 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 und der Schweiz) 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 bei 110 % des Medians liegt.

Tabelle 272: 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 2020

	IEF_{CH4}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
			Häufigkeit	mittlerer MCF
	[kg Platz^{-1} a^{-1}]	[kg Platz^{-1} d^{-1}]	[%]	[%]
Österreich	17,12	5,04	53,97	8,76
Belgien	26,15	4,57	47,67	19,00
Tschechische Republik	13,28	6,90	10,70	17,00
Dänemark	48,77	12,21	62,38	12,28
Frankreich	11,06	4,28	15,07	17,86
Deutschland	**23,25**	**4,14**	**58,04**	**14,58**
Niederlande	37,57	4,73	83,36	17,00
Polen	7,84	4,88	10,53	17,00
Schweiz	19,45	4,27	51,93	13,37
Vereinigtes Königreich	38,43	5,32	60,98	17,00
IPCC (2006c), Western Europe, cool region 10°C/11°C	21 bis 23	5,1	35,7	17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

Tabelle 273 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 274 geht hervor, dass bei den Schweinen der deutsche IEF für CH_4 aus dem Wirtschaftsdünger-Management im oberen Bereich, leicht über dem Median, liegt.

Tabelle 273: 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 2020

	IEF_{CH4}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
			Häufigkeit	mittlerer MCF
	[kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4]	[kg Platz^{-1} d^{-1}]	[%]	[%]
Österreich	6,81	2,38	33,61	8,34
Belgien	2,82	1,48	15,97	19,00
Tschechische Republik	3,55	2,95	6,50	17,00
Dänemark	14,41	2,55	31,38	12,28
Frankreich	3,37	1,91	2,48	19,52
Deutschland	**7,65**	**1,44**	**31,76**	**14,73**
Niederlande [a]	7,81	1,17	68,44	17,00
Polen	1,73	1,80	5,06	17,00
Schweiz [a]	5,47	2,26	30,26	13,37
Vereinigtes Königreich [b]	6,97	1,97	17,89	17,00
IPCC (2006c): 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 (2022b)

[a] berechnet aus CRF-Daten

[b] Vereinigtes Königreich: Rinder ohne Milchkühe und ohne Milchkuh-Nachzucht (incl. Kälber)

Tabelle 274: CH_4-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2020

	IEF_{CH4}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
			Häufigkeit	mittlerer MCF
	[kg Platz^{-1} a^{-1} CH_4]	[kg Platz^{-1} d^{-1}]	[%]	[%]
Österreich	1,26	0,32	88,23	3,39
Belgien	4,45	0,22	96,86	19,00
Tschechische Republik	2,00	0,31	22,80	17,00
Dänemark	3,39	0,07	89,52	13,31
Frankreich	4,14	0,19	79,05	22,23
Deutschland	**4,74**	**0,33**	**78,98**	**22,74**
Niederlande	5,66	0,42	47,18	36,00
Polen	1,38	0,31	24,90	17,00
Schweiz	3,90	0,31	79,88	13,37
Vereinigtes Königreich	4,06	0,25	36,17	17,00
IPCC (2006c 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 (2022b)

Tabelle 275 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 275: 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 2020

	IEF_{CH4} [kg Platz^{-1}a^{-1}]	VS-Ausscheidungen [kg Platz^{-1}d^{-1}]	mittleres Tiergewicht [kg Tier^{-1}]
Österreich	0,023	0,02	NA
Belgien	0,023	NE	1,55
Tschechische Republik	0,104	NA	1,32
Dänemark	0,027	0,003	2,00
Frankreich	0,025	0,019	NE
Deutschland	**0,034**	**0,025**	**1,69**
Niederlande	0,029	0,023	NA
Polen	0,028	NA	NA
Schweiz	0,017	0,013	NA
Vereinigtes Königreich	0,018	0,020	NE
IPCC (2006c 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 (2022b)

[a] niedriger Wert: Legehennen; hoher Wert: Puten

5.3.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, CH_4)

Tabelle 276 bis Tabelle 278 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.

Nur bei den VS-Ausscheidungen der Milchkühe sind leichte Unterschiede zwischen beiden Submissionen in der gewählten Zahlendarstellung erkennbar. Sie sind eine Folge der Korrektur bei der Rationsberechnung im Modell, siehe Kapitel 5.1.3.3. Bei den Emissionsfaktoren und Emissionen werden auch Unterschiede bei den den anderen Tierkategorien, vornehmlich ab dem Jahr 2000, sichtbar. Diese gehen vor allem auf die in Kapitel 5.1.3.3 genannte Neuinterpolation der Daten aus der Landwirtschaftszählung 2020 zurück. Beim Geflügel sind die Änderungen vor allem auf die Einführung von Ausscheidungen auf der Weide bei den Legehennen zurückzuführen, siehe Kapitel 5.1.3.3.

Tabelle 276: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
Milchkühe 2023	2,96	3,26	3,47	3,63	3,75	3,79	3,81	3,82	3,87	3,90	3,93	3,94	4,01	4,08	4,14
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	4,12
übrige Rinder 2023	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
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	1,44
Schweine 2023	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	0,332
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	0,332
Geflügel 2023	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	0,0253
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	0,0252

Tabelle 277: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
Milchkühe 2023	13,9	18,7	20,6	21,6	20,6	20,3	20,3	20,1	20,4	20,8	21,3	21,5	22,2	23,0	23,3
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	23,2
übrige Rinder 2023	7,30	7,54	7,68	7,41	6,91	6,84	6,89	6,94	6,99	7,10	7,20	7,29	7,44	7,61	7,65
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	7,66
Schweine 2023	4,62	4,97	5,18	4,82	4,37	4,36	4,40	4,38	4,42	4,48	4,55	4,60	4,66	4,70	4,74
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	4,78
Geflügel 2023	0,0313	0,0304	0,0321	0,0349	0,0365	0,0352	0,0339	0,0323	0,0329	0,0333	0,0337	0,0339	0,0341	0,0341	0,0338
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	0,0338

Tabelle 278: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
alle Tiere 2023	**312,4**	**285,6**	**289,7**	**272,9**	**249,7**	**248,6**	**254,0**	**254,3**	**259,1**	**259,2**	**260,7**	**262,4**	**259,9**	**259,9**	**257,9**
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**	**258,8**
Milchkühe 2023	88,2	97,7	94,2	91,4	86,1	85,0	85,2	85,8	87,8	89,2	90,0	90,3	91,1	92,4	91,2
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	91,1
übrige Rinder 2023	95,8	80,4	76,5	65,2	59,7	57,0	57,3	58,4	59,0	59,3	59,4	58,9	58,4	58,0	56,4
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	56,6
Schweine 2023	122,4	101,3	112,8	109,7	97,2	99,4	104,0	102,4	104,5	102,9	103,5	105,4	102,6	101,6	102,5
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	103,3
Geflügel 2023	3,57	3,38	3,86	4,20	4,70	5,11	5,46	5,73	5,79	5,83	5,84	5,88	5,91	5,90	5,85
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	5,86

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 (2006c) gibt keine Methode zur Berechnung von NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management an. EMEP/EEA (2019b) 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, 2019b-3B-28) und für die übrigen Tiere die Tier-1-Methodik (EMEP/EEA, 2019b -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 Rösemann et al. (2023), Kapitel 4.3.3. Für den Gleichungssatz der Tier-2-Methode wird auf EMEP/EEA (2019b-3B-29) verwiesen.

5.3.3.2.2 Emissionsfaktoren (NMVOC)

Für die Tier-1-Methodik gibt EMEP/EEA (2019b -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 279 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 4.3.3.1 in Rösemann et al. (2023):

In konservativer Weise wird für Eber der Emissionsfaktor von Sauen und für Aufzuchtferkel der von Mastschweinen übernommen.

Der in EMEP/EEA (2019b) 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 (2019b) angegebene Emissionsfaktor für Pferde wird als Emissionsfaktor für Großpferde interpretiert. Für Kleinpferde und Ponys wird der in EMEP/EEA (2019b) angegebene Emissionsfaktor für Esel und Maultiere verwendet.

Wegen der Ähnlichkeit des Haltungsverfahrens wird für Junghennen der Emissionsfaktor von Masthähnchen übernommen.

Tabelle 279: NMVOC: Im Inventar verwendete Tier-1- Emissionsfaktoren nach EMEP/EEA (2019b)

[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 280 zeigt für ausgewählte Jahre die berechneten Tier-2-Gesamtemissionsfaktoren (IEF) der Milchkühe und der übrigen Rinder.

Tabelle 280: NMVOC: Im Inventar berechneten Tier-2- Emissionsfaktoren (IEF)

[kg Platz^{-1} a^{-1}]	1990	2005	2021
Milchkühe	30,94	36,56	40,64
übrige Rinder	11,71	11,64	11,38

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 (2019b -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 281 hervor.

Tabelle 281: NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
insgesamt	**390,9**	**332,3**	**318,0**	**296,9**	**296,2**	**296,4**	**298,2**	**303,3**	**305,5**	**304,1**	**300,9**	**297,8**	**293,8**	**290,8**	**286,9**	**281,2**
in % von 1990	**100,0**	**85,0**	**81,4**	**76,0**	**75,8**	**75,8**	**76,3**	**77,6**	**78,1**	**77,8**	**77,0**	**76,2**	**75,1**	**74,4**	**73,4**	**71,9**
Milchkühe	196,6	171,0	161,9	154,9	155,8	157,6	157,7	159,9	162,7	163,4	162,4	161,4	160,7	160,3	158,9	155,7
übrige Rinder	153,8	124,4	117,5	102,4	100,5	96,5	95,6	96,5	96,0	94,8	93,0	90,9	88,2	85,9	83,6	82,0
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	12,7
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	0,24
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	0,09
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	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	27,3

Tabelle 282 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 = 95,7 %). 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 282: 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	2021
Rinder	89,6	88,9	87,9	86,7	86,5	85,7	84,9	84,5	84,7	84,9	84,9	84,7	84,7	84,7	84,5	84,6
Geflügel	4,7	5,5	6,2	6,8	7,3	8,0	8,7	9,3	9,1	9,1	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,7
übrige Tiere	5,7	5,7	5,9	6,5	6,2	6,2	6,3	6,2	6,1	6,0	6,0	6,1	6,0	6,0	6,0	5,7

5.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (NMVOC)

EMEP/EEA (2019b-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. 6.7 in Rösemann et al. (2023). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 6.3 in Rösemann et al. (2023).

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 2022, während bei den übrigen Tierkategorien die NMVOC-Emissionen mit dem NIR 2022 übereinstimmen. Tabelle 283 zeigt die in Submission 2023 und 2022 unterschiedlichen Emissionswerte; auf eine Darstellung der unterschiedlichen

Emissionsfaktoren wird verzichtet, da die Emissionen direkt proportional zu den Emissionsfaktoren sind. Die Differenzen in Tabelle 283 zwischen beiden Submissionen sind ganz überwiegend eine Folge der Veränderungen der bei den in der NMVOC-Tier-2-Methode verwendeten NH_3-Emissionsverhältnissen, insbesondere durch die Veränderungen der NH_3-Emissionen in Systemen mit Tiefstreu, siehe Kapitel 5.3.3.2.1 und Kapitel 5.1.7.2.

Tabelle 283: Vergleich der NMVOC-Emissionen zwischen NIR 2023 und NIR 2022 für Milchkühe und übrige Rinder

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Milchkühe 2023	196,6	171,0	161,9	154,9	155,8	157,6	157,7	159,9	162,7	163,4	162,4	161,4	160,7	160,3	155,8
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	155,8
übrige Rinder 2023	153,8	124,4	117,5	102,4	100,5	96,5	95,6	96,5	96,0	94,8	93,0	90,9	88,2	85,9	100,5
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	101,6

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 16.3.2.

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 (2006c) angegebenen Default-Emissionsfaktoren verwendet: Außenlager ohne natürliche Schwimmdecke (entspricht „Außenlager ohne Abdeckung“ in Tabelle 284), Außenlager mit natürlicher Schwimmdecke, Lagerung unterhalb Spaltenboden. Für die in IPCC (2006c 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 (2006c 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 (ohne Lagerung im Misthaufen) differenziert. Bei der Tiefstreu-Haltung kennt die landwirtschaftliche Praxis in Deutschland keine aktive Durchmischung (Expertenurteil, Brigitte Eurich-Menden et al. siehe Kap. 4.4.2 in Rösemann et al. (2023)). Für Tiefstreu wird daher der IPCC (2006c) Defaultwert von 0,010 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ IPCC (2006c Vol 4, 10.63)verwendet. Für die Lagerung von Festmist aus Anbindehaltung/Laufstall bzw. für Geflügelkot werden die IPCC (2006c) Defaultwerte von 0,005 bzw. 0,001 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ IPCC (2006c Vol 4, 10.63) verwendet.

Die Vergärung von Wirtschaftsdünger einschließlich Gärrestelagerung wird von IPCC (2006c 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 N_2O-Emissionen aus der Vergärung von Wirtschaftsdünger, differenziert nach verschiedenen Wirtschaftsdünger- und Gärrestelagerarten, siehe Kapitel 5.1.3.6.5.

Tabelle 284 zeigt die für die vorliegende Submission 2023 verwendeten N_2O-N-Emissions-faktoren.

Tabelle 284: 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 (2006c 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 (2006c Vol 4) gibt keine Emissionsfaktoren für NO an. Die in EMEP/EEA (2019b-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 285 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 284) 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 285 der resultierende Emissionsfaktor für Tiefstreu höher als der in Tabelle 284 angegebene. Gleiches gilt prinzipiell auch für strohbasierte Systeme ohne Tiefstreu und Vergärung, wobei der Effekt nicht auffällt, weil in die entsprechenden Werte in Tabelle 285 auch der erheblich niedrigere Geflügel-Emissionsfaktor (siehe Tabelle 284) 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).

Tabelle 285: 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	2021
güllebasiert [a]	3,05	3,42	3,38	3,35	3,36	3,32	3,28	3,25	3,22	3,19	3,16	3,12	3,10	3,07	3,07	3,08
strohbasiert [b]	4,89	4,61	4,47	4,50	4,25	4,07	3,94	3,82	3,77	3,71	3,66	3,58	3,50	3,43	3,43	3,38
Tiefstreu [a]	11,28	11,41	11,40	11,35	11,38	11,41	11,44	11,48	11,50	11,52	11,55	11,58	11,60	11,61	11,60	11,61
Vergärung	5,44	5,10	4,86	4,57	3,32	3,06	2,47	2,36	2,26	2,22	2,19	2,19	2,17	2,13	2,10	2,11

[a] ohne Vergärung

[b] ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

5.3.4.2.3 Emissionen (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Tabelle 286 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 16.3.2) sowie die mit den Jahren

zunehmende Emissionsminderung durch Vergärung von Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.1.3.6.5).

Tabelle 286: 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	2021
MM gesamt	8,28	7,43	7,25	7,21	7,12	6,99	6,88	6,87	6,89	6,85	6,79	6,73	6,61	6,54	6,44	6,25
in % von 1990	100,0	89,8	87,6	87,2	86,0	84,4	83,1	83,0	83,3	82,7	82,1	81,4	79,9	79,0	77,8	75,5
güllebasiert [a]	4,17	4,41	4,27	3,89	3,35	3,21	3,19	3,10	3,09	3,05	3,03	2,98	2,92	2,90	2,86	2,74
strohbasiert [b]	3,25	2,12	1,99	1,99	1,86	1,74	1,67	1,58	1,52	1,45	1,37	1,29	1,21	1,13	1,11	1,09
Tiefstreu [a]	0,86	0,90	0,96	1,10	1,22	1,26	1,35	1,45	1,55	1,61	1,68	1,74	1,79	1,85	1,80	1,76
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	0,67	0,67

[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 287 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 287: 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	2021
[kt a^{-1}]	0,0001	0,0008	0,006	0,04	-0,12	-0,20	-0,36	-0,42	-0,47	-0,47	-0,46	-0,46	-0,45	-0,44	-0,45	-0,45
[%]	0,001	0,011	0,08	0,6	-1,6	-2,8	-5,0	-5,8	-6,3	-6,5	-6,4	-6,4	-6,4	-6,3	-6,5	-6,7

Tabelle 288 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 288: NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	1,129	1,013	0,989	0,984	0,971	0,953	0,938	0,937	0,940	0,934	0,926	0,918	0,902	0,892	0,878	0,852

5.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N_2O_{direkt} & NO)

Tabelle 254 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 (2006c Vol 4, Table 10.21). Siehe dazu auch Kap. 4.2.2.4 und 14.4.1 in Rösemann et al. (2023). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 6.3 in Rösemann et al. (2023).

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 2020 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 289 und Tabelle 290.

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 rund 9 % unter dem Median. 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. 1.1.2.2 in Rösemann et al. (2023), während sich die niedrigeren N-Ausscheidungen der übrigen Länder möglicherweise zum Teil durch eine nicht AAP-konsistente Berücksichtigung von Leerstandszeiten erklären lassen.

Auch beim Geflügel hat Deutschland die zweithöchste mittlere N-Ausscheidung. 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 (2019b-3B-31)).

Tabelle 289: N-Ausscheidung pro Tierplatz für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Zeitreihenjahr 2020

	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	106,90	51,53	10,93	0,53
Belgien	121,81	53,49	8,89	0,57
Tschechische Republik	109,20	58,73	10,99	0,50
Dänemark	156,36	42,45	7,31	0,48
Frankreich	116,72	59,66	9,51	0,47
Deutschland	**121,35**	**43,68**	**12,39**	**0,66**
Niederlande [a]	83,00	39,15	14,24	0,57
Polen	114,55	51,12	10,91	0,73
Schweiz [a]	111,38	39,69	9,11	0,47
Vereinigtes Königreich [b]	114,33	44,49	9,32	0,48
IPCC (2006c 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 (2019b-3B-31)	105	41	12,1 / 34,5 [d]	0,36 bis 1,64

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

[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 (2006c 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 (2006c Vol 4) Sauen und Eber: 30,4, andere: 9,3; EMEP/EEA (2019b): Sauen: 34,5, Mastschweine: 12,1

e Geflügel: Annahmen für fehlende Werte: Gewicht Gänse = 1/2 Standardgewicht Puten IPCC (2006c Vol 4), N-Ausscheidung Gänse = Standard-N-Ausscheidung Puten (IPCC (2006c Vol 4)), Gewicht Junghennen = 1/2 Standardgewicht Legehennen IPCC (2006c Vol 4), N-Ausscheidung Junghennen = Standard-N-Ausscheidung Legehennen IPCC (2006c Vol 4)

Tabelle 290 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 6 % oberhalb des Medians und damit ungefähr auf dem Niveau von Tschechien und Dänemark. Beim Geflügel weist Deutschland den viertgrößten Wert auf (33 % oberhalb des Medians) und liegt damit zusammen mit Polen deutlich über dem IEF des Großteils der Nachbarländer. Nur Tschechien und das Vereinigte Königreich weisen IEFs auf, die nochmal um den Faktor 3 höher liegen.

Tabelle 290: IEFs der direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Jahr 2020

	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	0,798	0,475	0,086	0,00080
Belgien	0,720	0,547	0,030	0,00089
Tschechische Republik	0,579	0,317	0,048	0,00373
Dänemark	0,948	0,366	0,058	0,00074
Frankreich	0,402	0,185	0,004	0,00069
Deutschland	**0,612**	**0,327**	**0,054**	**0,00119**
Niederlande [a]	0,413	0,235	0,028	0,00090
Polen	0,807	0,353	0,086	0,00120
Schweiz [a]	0,315	0,127	0,023	0,00072
Vereinigtes Königreich [b]	0,535	0,579	0,163	0,00408

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

[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 291 zeigt die direkten N_2O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management im Vergleich mit Ergebnissen der Submission 2022. Die zugrunde liegenden Daten der N-Ausscheidung gehen aus Tabelle 292 hervor.

Bei den N-Ausscheidungen sind mit den Jahren größer werdende Unterschiede zwischen beiden Submissionen festzustellen. Sie sind hauptsächlich eine Folge der Neuerhebung der Rohproteingehalte des Mastschweinefutters und der Neuinterpolation der 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 wirkt sich die Neuinterpolation weiterer Daten zu Haltungssystemenaus der Landwirtschaftszählung 2020 teilweise rückwirkend bis zum Jahr 2000 aus.

Tabelle 291: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
2023	8,276	7,430	7,254	7,215	7,122	6,987	6,880	6,868	6,893	6,849	6,794	6,734	6,614	6,542	6,439
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	6,529

Tabelle 292: Vergleich der in Submission 2023 und 2022 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	2020
2023	1555,1	1336,2	1301,0	1254,0	1246,6	1248,6	1265,4	1277,5	1289,6	1286,3	1275,4	1267,2	1244,9	1232,0	1218,8
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	1234,2

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 293.

Tabelle 293: 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	2020
2022	1,129	1,013	0,989	0,984	0,971	0,953	0,938	0,937	0,940	0,934	0,926	0,918	0,902	0,892	0,878
2021	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

5.3.4.6 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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, $N_2O_{indirekt}$)

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 (2006c Vol 4, 11.21) proportional zur deponierten N-Menge berechnet:

Gleichung 16: indirekte N_2O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger- Managements (Deposition)

$$E_{\text{N2O indirect, MM, Dep}} = \frac{44}{28} \cdot (E_{\text{NH3-N, MM}} + E_{\text{NO-N, MM}}) \cdot EF_4$$

mit:

$E_{\text{N2O, indirect,-MM, Dep}}$	indirekte N_2O-Emissionen aus der Deposition von NH_3-N und NO-N aus dem Wirtschaftsdünger -Management (kg a^{-1})
$E_{\text{NH3-N, MM}}$	gesamte NH_3-N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger -Management (kg a^{-1})
$E_{\text{NO-N, MM}}$	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, ebenso wie tierspezifische Details in Kap. 4.3.1 bzw. 4.3.2 in Rösemann et al. (2023).

Die indirekten N_2O-Emissionen aufgrund von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdünger-Management werden proportional zur Menge des auf dem Feld mit Mist gelagertem N berichtet.

Auswaschung von Stickstoff wird ausschließlich bei der Feldrandlagerung von Festmist berichtet, da für alle anderen Arten der Lagerung eine Auswaschung durch die baurechtlichen

Vorgaben verhindert wird. Laut der Bund-/Länder-Arbeitsgeeinschaft Wasser (LAWA, 2019) muss ein Feldrandlager nach spätestens vier Wochen eine wasserdichte Abdeckung erhalten. Es wird also in konservativer Weise davon ausgegangen, dass Auswaschung von N in den ersten vier Wochen der Lagerung auftritt. Der ausgewaschene Anteil der gelagerten N-Menge ($Frac_{LEACHMS}$) wird mit Hilfe von (IPCC, 2019a) berechnet, siehe Kap. 4.4.3 in Rösemann et al. (2023) und beträgt 0.00333 kg kg^{-1}.

Die indirekten N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung werden nach dem Tier-1-Verfahren nach IPCC (2006c 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 (2006c Vol 4, 11.24, Table 11.3) berechnet:

Gleichung 17: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger- Managements (Auswaschung)

$$E_{\text{N2O indirect, MM, Leach}} = \frac{44}{28} \cdot N_{\text{leaching, MM}} \cdot EF_5$$

mit:

$E_{\text{N2O, indirect,-MM, Leach}}$	indirekte N_2O-Emissionen aus der Auswaschung von N aus dem Wirtschaftsdünger -Management (kg a^{-1})
$N_{\text{leaching, MM}}$	N-Menge die während der Feldrandlagerung ausgewaschen wird (kg a^{-1})
EF_5	N_2O-N-Emissionsfaktor für Auswaschung, siehe Kapitel 5.3.5.2.2

Eine ausführliche Beschreibung der Berechnung der indirekten N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss findet sich in Kap. 5.3.2.1 in Rösemann et al. (2023).

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, 2006c Vol 4, 11.24, Table 11.3).

Der Emissionsfaktor EF_5 für indirekte N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (nur für Lagerung von Mist auf dem Feld) beträgt 0,0075 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ (IPCC, 2006c Vol 4, 11.24, Table 11.3).

5.3.5.2.3 Emissionen (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Tabelle 294 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. Tabelle 295 zeigt entsprechend die indirekten N_2O-Emissionen aufgrund von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdünger-Management. Diese wurden in der letzjährigen Submission noch nicht berichtet.

Der Trend der 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 2023 und 2022 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 294: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge der Deposition von NH_3 und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2023 und 2022)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2023	3,840	3,167	3,149	3,153	3,098	3,089	3,126	3,125	3,125	3,086	3,037	3,009	2,920	2,862	2,810	2,703
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	

Tabelle 295: Indirekte N_2O-Emissionen als Folge von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2023 und 2022)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2023	0,0014	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	

5.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, $N_2O_{indirekt}$)

Tabelle 254 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 indirekten N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (siehe Kap. 6.5 in Rösemann et al. (2023)) übernommen. Zur Schätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten (verfügbare Menge an reaktivem Stickstoff) siehe Kap. 6.3 in Rösemann et al. (2023).

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	3 D, Agricultural Soils		N_2O	20.339,2	1,6 %	16.619,9	2,2 %	-18,3 %

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)
- Klärschlammausbringung
- Ausbringung von sonstigen organischen Düngern (Gärreste aus Energiepflanzenvergärung und Abfallvergärung, Komposte aus Bio- und Grünabfall)
- Weidegang
- Ernterückständen
- Mineralisierung
- Bewirtschaftung organischer Böden

Emissionen infolge der Ausbringung von Kompost oder Gärresten aus der Vergärung von Abfällen werden in der vorliegenden Submission 2023 erstmals im Sektor Landwirtschaft berichtet.

Die indirekten N_2O-Emissionen des Sektors 3.D ergeben sich als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs sowie von Auswaschung und Oberflächenfluss.

Tabelle 296 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 296: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von N_2O und THG

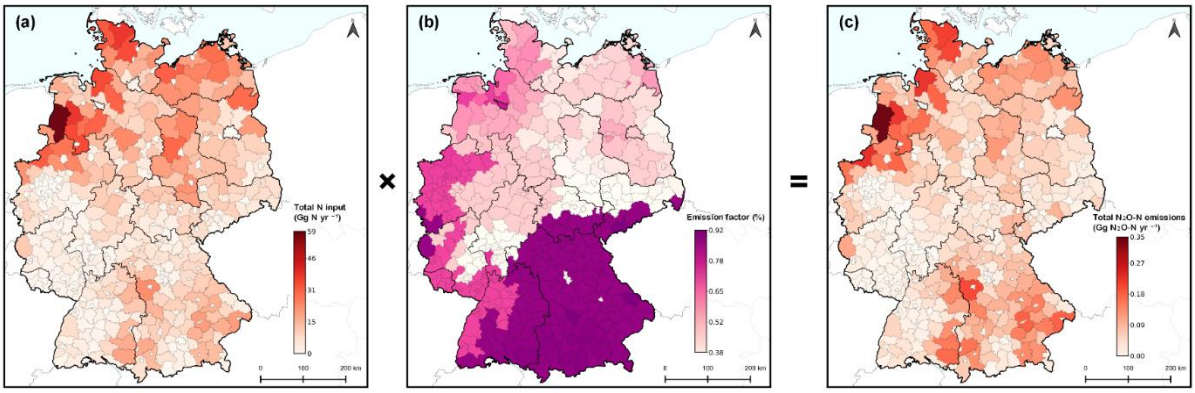
[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (N_2O, THG)	
		1990	2021
N_2O_{soils}, direkt	-16,9	63,8	64,9
N_2O_{soils}, indirekt	-22,1	226	21,6
Summe von N_2O_{soils}	-18,3	86,4	86,5
dito, als THG (in CO_{2eq})	-18,3	32,4	34,0

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 50: 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 50), 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 297 aufgelistet. (Mathivanan et al., 2021; Metzger et al., 2005).

Tabelle 297: 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 (2006c Vol 4, 11.7) proportional zur N-Menge, die auf der Weide ausgeschieden wurde (siehe Kapitel 5.1.5.1). Es werden die IPCC default Emissionsfaktoren verwendet: Für Rinder, Schweine und Geflügel 0,02 kg N_2O-N je kg ausgeschiedenen Stickstoff, für Schafe, Ziegen und Pferde 0,01 kg N_2O-N je kg ausgeschiedenen Stickstoff , siehe IPCC (2006c) Vol4, Table 11.1. 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 (2006c Vol 4, 11.7) proportional zu den freigesetzten N-Mengen (siehe Kapitel 5.1.5.1) berechnet. Der Emissionsfaktor wird nach IPCC (2006c) 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 298 zeigt den daraus abgeleiteten flächengewichteten Mittelwert, der wegen des nicht konstanten Verhältnisses von Acker- zu Grünlandflächen zeitlich variabel ist.

Tabelle 298: Mittlere N_2O-N-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Böden

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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	0,0061
Ausbringung Wirtschaftsdünger [kg kg^{-1}]	0,0066	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	0,0066	0,0066
Ausbringung Gärreste Energiepflanzen [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	0,0065	0,0065
Ausbringung Gärreste Abfall [kg kg^{-1}]	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0065	0,0065	0,0065
Ausbringung Kompost Bioabfall [kg kg^{-1}]	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0065	0,0065	0,0065
Ausbringung Kompost Grünabfall [kg kg^{-1}]	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0065	0,0065	0,0065
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	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	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	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	0,01
bewirtschaftete organische Böden [kg ha^{-1}]	6,21	6,17	6,14	6,19	6,21	6,23	6,25	6,27	6,29	6,30	6,29	6,27	6,25	6,24	6,21	6,21

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 (2006c 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 Klärschlämmen,
- Ausbringung von sonstigen organischen Düngern (Gärreste aus Energiepflanzenvergärung und Abfallvergärung, Komposte aus Bio- und Grünabfall),
- 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. 5.3.2.2 in Rösemann et al. (2023) . 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 5.2.1.2 und 5.2.2.2 in Rösemann et al. (2023). Die Berechnung der NH_3– und NO-Emissionen aus der Ausbringung von Wirtschaftsdünger (einschließlich der Gärreste aus Wirtschaftsdünger) und Weidegang ist in den Kapiteln 4.3.1.1 und 4.3.2.1 in Rösemann et al. (2023) beschrieben. Für die Ausbringung von Gärresten der Energiepflanzen-Vergärung, Gärresten der Abfall-Vergärung, Kompost aus Biobfall, Kompost aus Grünabfall und Klärschlämmen wird auf die Kapitel 5.1 bzw. 5.2.1.2 und 5.2.2.2 in Rösemann et al. (2023) verwiesen. Zur Ausbringung von Harnstoffdüngern gelten ab dem Jahr 2020 rechtliche Einschränkungen: „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 (2006c 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 (2006c 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. 5.3.2.1 in Rösemann et al. (2023).

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 (2019b-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 (2019b-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 (2019b-3D, Table 3.1, p.13, Supplement A2.3) auch für N-Ausscheidungen bei Weidegang, die Ausbringung von Klärschlämmen und sonstigen organischen Düngern ein.

5.5.2.1.5 NMVOC-Emissionen

IPCC (2006c) 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 (2019b)-3D-30 f, getrennt nach Kulturen:

Gleichung 18: Berechnung der jährlichen NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen nach EMEP/EEA (2019b)

$$E_{\text{NMVOC, cult,i}} = A_i \cdot m_{\text{FM,i}} \cdot x_{\text{DM,i}} \cdot t_i \cdot EF_{\text{NMVOC, cult,i}}$$

mit

$E_{\text{NMVOC, cult, i}}$	NMVOC-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Kultur i (in kg a^{-1})
A_i	Anbaufläche der Kultur i (in ha)
$m_{\text{FM, i}}$	mittlerer Frischmasseertrag von Kultur i (in kg ha^{-1} a^{-1})
$x_{\text{DM, i}}$	Trockenmassegehalt von Kultur i (in kg kg^{-1})
t_i	Anteil des Jahres, während dessen Kultur i NMVOCs emittiert (in a a^{-1})
$EF_{\text{NMVOC, cult, i}}$	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 (2019b 3D Table 3.3) entnommen, siehe Tabelle 299. 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 299: 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, 2006c 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 (2006c 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 300. 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, 2019b) bis zum Jahr 2019 eine sehr gute Korrelation von $Frac_{GASF}$ mit dem relativen Verhältnis von Harnstoff-N zu Gesamtmineraldünger-N (Rösemann et al., 2023). 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 300: $Frac_{GASF}$-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	2021	Mittelwert
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	0,034	0,050

$Frac_{GASM}$ ist nach IPCC (2006c Vol 4, 11.21, eq.11.9) der Anteil der mit Wirtschaftsdünger (incl. Wirtschaftsdünger-Gärresten), Klärschlämmen, sonstigen organischen Düngern und beim Weidegang ausgebrachten N-Menge, der als NH_3-N und NO-N emittiert wird, siehe Tabelle 301. (Die $Frac_{GASM}$-Definition in CRF-Tabelle 3.D entspricht nicht dieser Definition.)

Tabelle 301: $Frac_{GASM}$-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	2021	Mittelwert
$Frac_{GASM}$	0,199	0,185	0,178	0,170	0,169	0,171	0,167	0,166	0,163	0,160	0,159	0,157	0,155	0,153	0,150	0,151	0,172

5.5.2.3 Emissionen (3.D)

Tabelle 302 zeigt eine Übersicht über die Beiträge der einzelnen Teilquellen zu den N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden.

Tabelle 302: 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	2021
Gesamtemissionen	**76,8**	**66,8**	**69,7**	**67,7**	**67,2**	**68,1**	**69,5**	**69,8**	**72,3**	**71,6**	**71,1**	**69,6**	**65,8**	**64,9**	**63,4**	**62,7**
Summe direkte Emissionen	**56,7**	**49,9**	**51,8**	**50,4**	**49,8**	**50,4**	**51,4**	**51,5**	**53,3**	**52,7**	**52,4**	**51,4**	**48,9**	**48,3**	**47,6**	**47,1**
Summe indir. Emissionen	**20,1**	**16,9**	**17,9**	**17,3**	**17,4**	**17,7**	**18,2**	**18,3**	**19,1**	**18,9**	**18,7**	**18,2**	**16,9**	**16,6**	**15,9**	**15,7**
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	12,7	12,4
Wirtschaftsdünger	11,6	10,4	10,1	9,8	9,8	9,8	10,0	10,1	10,2	10,2	10,1	10,1	10,0	9,9	9,8	9,5
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	3,0
Abfall-Gärreste und Kompost	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
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	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	3,5
Ernterückstände	4,6	4,7	5,3	5,5	5,3	5,3	5,7	5,6	6,5	5,6	5,5	5,9	4,8	5,3	5,4	5,5
Mineralisierung	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Organische Böden	12,7	12,6	12,5	12,7	12,6	12,6	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6	12,5	12,5	12,4	12,4
Indirekt, Deposition	5,7	4,8	4,8	4,6	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,3	5,3	5,1	4,8	4,6	4,1	4,0
Indirekt, Auswaschung	14,4	12,2	13,0	12,7	12,4	12,7	13,1	13,1	13,7	13,5	13,4	13,1	12,2	12,0	11,8	11,6

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 2021 ist sie um 13,3 % 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 246 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 dürrebedingt 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 303 zeigt für erstes und letztes Zeitreihenjahr die prozentualen Beiträge der verschiedenen Teilquellen zu den Gesamt-N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

Tabelle 303: N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Prozentuale Beiträge der Teilquellen

[%]	1990	2021
Mineraldünger	27,3	19,8
Wirtschaftsdünger (incl. Wirtschaftsdünger-Gärreste)	15,2	15,2
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	4,8
Abfall-Gärreste und Komposte	0,1	0,9
Klärschlamm	0,4	0,2
Weidegang	8,3	5,5
Ernterückstände	6,0	8,8
Mineralisierung	0,12	0,08
Organische Böden	16,5	19,74
Summe indirektes N_2O	26,2	25,0

Die Ergebnisse der NO-Emissionsberechnungen sind in Tabelle 304 dargestellt. Zu den Quellen siehe Kapitel 5.5.2.1.2. Tabelle 304 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 304: NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
insgesamt	**91,8**	**75,6**	**80,3**	**76,8**	**75,7**	**77,6**	**79,3**	**79,7**	**82,1**	**82,9**	**82,5**	**79,3**	**75,6**	**72,9**	**70,8**	**69,5**
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	7,7	7,7
übrige Quellen	91,8	75,6	80,1	75,6	71,4	72,2	73,3	72,6	74,6	75,1	74,7	71,6	68,1	65,4	63,1	61,8

Tabelle 305 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 305: NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
[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	9,43
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	122,6

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 306 und Tabelle 307 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 2020.

Tabelle 306: Vergleich der deutschen N_2O-N-Emissionsfaktoren mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2020

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	0,0169	0,010	0,0075
Belgien	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0194	0,010	0,0075
Tschechische Republik	0,0100	0,0100	0,0100	NO	NO	0,0189	0,010	0,0023
Dänemark	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	7,4349	0,0176	0,010	0,0048
Frankreich	0,0100	0,0100	0,0100	NO	3,4190	0,0191	0,010	0,0075
Deutschland	**0,0061**	**0,0066**	**0,0060**	**0,0100**	**6,2143**	**0,0189**	**0,010**	**0,0075**
Niederlande	0,0105	0,0080	0,0138	NO	4,4463	0,0313	0,012	0,0075
Polen	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0197	0,010	0,0075
Schweiz	0,0097	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0187	0,026	0,0075
Vereinigtes Königreich	0,0073	0,0061	0,0100	0,0100	9,5391	0,0033	0,014	0,0075
IPCC (2006c 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: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

[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 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 (2006c) Default-Emissionsfaktor von 8 kg ha^{-1}. Zwei Länder liegen über diesem Defaultwert, drei Länder unterhalb, davon zwei (Niederlande und Frankreich) deutlich. Der deutsche Wert, der auf nationalen Emissionsfaktoren für Ackerland und Grünland beruht (siehe Kapitel 5.5.2.1.1) liegt 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 (2006c), 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 (2006c) Defaultwerten.

Tabelle 307: Vergleich der deutschen Frac-Größen mit denen benachbarter Staaten, Zeitreihenjahr 2020

[kg kg^{-1}]	$Frac_{GASF}$	$Frac_{GASM}$	$Frac_{LEACH}$
Österreich	0,051	0,16	0,15
Belgien	0,067	0,17	0,30
Tschechische Republik	0,100	0,20	0,30
Dänemark	0,052	0,09	0,21
Frankreich	0,061	0,11	0,25
Deutschland	**0,034**	**0,15**	**0,30**
Niederlande	0,049	NA	0,13
Polen	0,100	0,20	0,30
Schweiz	0,065	0,22	0,18
Vereinigtes Königreich	0,034	0,04	0,19
IPCC (2006c Vol 4, 11.24)	0,100	0,20	0,30

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

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 ist für das Jahr 2020 der kleinste, da ab diesem Jahr mit einem um 70 % verminderten NH_3-Emissionsfaktor für Harnstoff gerechnet wird (siehe Kapitel 5.5.2.1.2). Der deutsche Wert für $Frac_{GASM}$ liegt etwas unterhalb des Medians. Für $Frac_{LEACH}$ verwendet Deutschland wie einige andere Länder den IPCC (2006c) 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 254 in Kapitel 5.1.6 zu entnehmen.

Bei den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für direktes N_2O aus Mineraldünger, organischen Dünger (Wirtschaftsdünger, Gärreste, Kompost, 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 (2006c Vol 4, 11.11, Table 11.1). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (N-Mengen) siehe Kapitel 6.3 in Rösemann et al. (2023).

Die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktor für die direkten N_2O-Emissionen aus drainierten organischen Böden wurden aus nationalen Daten abgeleitet, siehe Kap. 6.3 und 6.5 in Rösemann et al. (2023). Gleiches gilt für die Mineralisierung organischer Bodensubstanz, siehe Kap. 6.3 und 6.5 in Rösemann et al. (2023).

Für NO aus der Ausbringung von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Klärschlamm und sonstigen organischen Düngern sowie aus den N-Ausscheidungen auf der Weide geht das deutsche Inventar für die Unsicherheit des Emissionsfaktors von einem 95 %-Konfidenzintervall von -95 % bis +400 % aus, siehe Rösemann et al. (2023) , Kap. 6.5. 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 6.5 in Rösemann et al. (2023) .

EMEP/EEA (2019b) macht für die Tier-2-NMVOC-Emissionsfaktoren keine Angaben zur Unsicherheit. Geht man für den Tier-1-Emissionsfaktor von der in EMEP/EEA (2019b-3D, Table 3.1) angegebenen oberen Wertebereichsgrenze aus und passt eine Lognormal-Verteilung an, so ergibt sich ein 95 %-Konfidenzintervall von -89 % bis +300 %, siehe Kap. 6.7 in Rösemann et al. (2023) (Rösemann et al., 2023, Kap. 11.12.2). Für die Unsicherheit der Aktivitätsdaten wird die

Unsicherheit der Aktivitätsdaten für Ernterückstände aus den Unsicherheitsangaben für N_2O 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.

5.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.D)

Tabelle 308 vergleicht die N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden zwischen der vorliegenden Submission und der letztjährigen Submission.

Tabelle 308: Gesamt-N_2O aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Submission 2023 und 2022 (3.D)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2023	76,8	66,8	69,7	67,7	67,2	68,1	69,5	69,8	72,3	71,6	71,1	69,6	65,8	64,9	63,4
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	62,7

Aus Tabelle 309 gehen die Änderungen der N_2O-Emissionen gegenüber der letztjährigen Submission hervor.

Tabelle 309: Veränderung von Submission 2022 zu Submission 2023 für die gesamten N_2O-Emissionen (direkt und indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2022 zu Submission 2023)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**0,347**	**0,636**	**0,882**	**0,925**	**0,933**	**0,981**	**1,028**	**1,021**	**1,132**	**1,152**	**1,151**	**1,123**	**1,169**	**1,162**	**0,528**
Mineraldünger	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	0,000	-0,339
Wirtschaftsdünger	0,100	0,113	0,112	0,110	0,105	0,111	0,117	0,126	0,129	0,132	0,132	0,128	0,126	0,124	0,111
sonstige organische Dünger	0,056	0,245	0,414	0,436	0,449	0,466	0,479	0,449	0,514	0,520	0,523	0,512	0,548	0,547	0,634
Klärschlamm	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	0,000	-0,015
Weidegang	0,001	0,002	0,007	0,020	-0,006	-0,003	0,002	0,008	0,009	0,007	0,010	0,007	0,011	0,011	0,038
Ernterückstände	0,000	0,000	0,000	-0,002	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	0,000
Mineralisierung	0,050	0,047	0,045	0,038	0,032	0,032	0,031	0,031	0,030	0,030	0,029	0,027	0,026	0,025	0,024
Organische Böden	-0,065	-0,064	-0,062	-0,044	-0,028	-0,026	-0,024	-0,022	-0,020	-0,018	-0,016	-0,014	-0,011	-0,009	-0,006
Indirekt, Deposition	0,140	0,157	0,172	0,167	0,184	0,197	0,210	0,225	0,243	0,251	0,244	0,237	0,233	0,228	0,143
Indirekt, Auswaschung	0,065	0,136	0,195	0,200	0,200	0,207	0,214	0,207	0,230	0,232	0,233	0,228	0,239	0,238	-0,064

Die Emissionen der Submission 2023 liegen in allen Jahren oberhalb der entsprechenden Werte der Submission 2022. Die auffälligste und betragsmäßig größte Veränderung gegenüber Submission 2022 zeigt sich bei den sonstigen organischen Düngern. Dies ist eine Folge der erstmals im Sektor Landwirtschaft berichteten Emissionen aus der Ausbringung von Gärresten aus Abfall und Kompost. Die in Tabelle 309 darüber hinaus noch zu erkennenden Veränderungen gegenüber Submission 2022 haben sich aufgrund von Aktualisierungen von Eingangsdaten geändert.

Tabelle 310 stellt die NO-Gesamtemissionen den entsprechenden Daten aus der letztjährigen Submission gegenüber. Die Differenzen zwischen den beiden Submissionen werden in Tabelle 311 nach Teilquellen aufgeschlüsselt. 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. Wie beim N_2O zeigt sich die größte Änderung bei den sonstigen organischen Düngern. Die Änderung 2020 beim Mineraldünger beruht auf der Verwendung des jahresübergreifenden gleitenden Mittelwertes.

Tabelle 310: 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	2020
2023	2023	91,8	75,6	80,3	76,8	75,7	77,6	79,3	79,7	82,1	82,9	82,5	79,3	75,6	72,9
2022	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

Tabelle 311: Veränderung von Submission 2022 zu Submission 2023 für die NO-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2022 zu Submission 2023)

[kt a^{-1}]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
insgesamt	**0,391**	**0,911**	**1,345**	**1,402**	**1,406**	**1,464**	**1,513**	**1,461**	**1,631**	**1,649**	**1,655**	**1,616**	**1,701**	**1,693**	**0,926**
Mineraldünger	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	0,000	-0,914
Wirtschaftsdünger	0,245	0,281	0,283	0,273	0,270	0,280	0,293	0,313	0,319	0,323	0,320	0,310	0,302	0,296	0,262
sonstige organische Dünger	0,145	0,629	1,057	1,112	1,141	1,186	1,219	1,142	1,305	1,319	1,327	1,300	1,390	1,387	1,592
Klärschlamm	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	0,000	-0,045
Weidegang	0,001	0,001	0,006	0,016	-0,005	-0,002	0,002	0,006	0,007	0,006	0,008	0,006	0,009	0,009	0,031

Bei den NMVOC-Emissionen gibt es keine Veränderungen gegenüber der letztjährigen Submission.

Tabelle 312: 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	2020
2023	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	9,156
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	9,156

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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. 2.8.9 in Rösemann et al. (2023).

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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**3 G, Liming**		**CO2**	**2.200,5**	**0,2 %**	**2.006,4**	**0,3 %**	**-8,8 %**
-/-	3 H, Urea Application		CO2	481,0	0,0 %	399,5	0,1 %	-17,0 %
-/-	3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	510,4	0,0 %	182,2	0,0 %	-64,3 %

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 der Emissionshöhe und 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 (2006c 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 313 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 313: 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	2021
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 (2006c Vol 4, 11.27) angegebene Tier-2-Ansatz beruht auf Anwendung der Tier-1-Gleichung (Gleichung 11.12 in IPCC (2006c 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 (2006c 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. 5.3.3 in Rösemann et al. (2023).

Die so berechneten CO_2-C-Emissionen werden für die Eintragung in die CRF-Tabellen durch Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 44/12 (IPCC (2006c 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 314 zeigt den zeitlichen Verlauf der CO_2-Emissionen aus der Düngekalkung insgesamt sowie für die drei getrennt zu berichtenden Kalkdüngerkategorien.

Tabelle 314: 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	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**	**2233,1**	**2195,2**	**2188,5**
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**	**81,0**	**80,7**
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	1960,2	1952,9
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	49,6	53,4
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	185,5	182,2

Die Tier-1-Methodik für CO_2-C-Emissionen aus Harnstoffanwendung (IPCC, 2006c 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, 2006c 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 315 zeigt die resultierende Zeitreihe.

Tabelle 315: CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung (3.H)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
[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	433,3	399,5
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	90,1	83,0

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 2020 ein Vergleich der CO_2-Emissionenen aus Kalkung und Harnstoffanwendung in Deutschland (aktuelle Submission 2023) und benachbarten Staaten inklusive des Vereinigten Königreiches (Submission 2022, UNFCCC (2022b)) durchgeführt, siehe Tabelle 316.

Tabelle 316: Vergleich der deutschen CO_2 -IEF-Werte mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2020

[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	0,02600	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 (2006c): Vol. 4, 11.27	0,12	0,13		0,20

Quelle: Deutschland: Submission 2023; andere Länder: UNFCCC (2022b)

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 (2006c): 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; der deutsche IEF liegt in der Nähe des dänischen Werts. Alle

verglichenen Länder berechnen die CO_2-Emissionen aus der Harnstoffanwendung, wobei einheitlich der IPCC (2006c) Default-Emissionsfaktor eingesetzt wurde.

5.8.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.G-I)

Tabelle 254 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. 6.3 und 6.9 in Rösemann et al. (2023) .

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 254 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 2022 nur im Zeitreihenjahr 2020. Dies ist eine direkte Folge der jahresübergreifenden Mittelung der Aktivitätsdaten, siehe Kapitel 5.1.5.2.

Tabelle 317: 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	2021
2023, 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	2195,2	2188,5
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	
2023 - 2022	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	42,3	
2023 - 2022, 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	0,0	2,0	

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/T	3 J, Other		CH_4	0,3	0,0 %	1.500,2	0,2 %	485.379,3 %
-/-/2	3 J, Other		N_2O	0,1	0,0 %	227,4	0,0 %	205.276,5 %

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 sowie für N_2O nach der Methode-2-Analyse.

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 keine indirekten N_2O-Emissionen aufgrund von Auswaschung/Oberflächenabfluss aus dem Lager auf.

Als Ergänzung zur Tabelle oben zeigt Tabelle 318 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 318 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 318: 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	2021
$CH_{4,EC}$	0,0	4,3
N_2O_{EC}	0,0	1,2
$CH_{4,EC}$ + N_2O_{EC} als THG (in CO_{2eq})	0,0	2,9

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. 5.1 in Rösemann et al. (2023) verwiesen.

5.9.3 CH_4-Emissionsfaktor und -Emissionen (3.J, CH_4)

Tabelle 319 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 319: 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	2021
	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	2,61

Die CH_4-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) gehen aus Tabelle 320 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 320: 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	2021
	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	53,58	53,58

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 321 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 321 sind auf die N-Mengen anzuwenden, die mit den Energiepflanzen in den Vergärungsprozess eingebracht wurden (siehe Kapitel 5.1.4.2).

Tabelle 321: 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	2021
	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	1,71	1,71

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 (2006c 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 322. 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 322: 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	2021
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**	**0,858**	**0,858**
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	0,816	0,816
$N_2O_{indirekt}$	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	0,042	0,042

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 323 zeigt den zeitlichen Verlauf der NO-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager).

Tabelle 323: 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	2021
	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	0,111	0,111

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 254 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. 6.3 und in Rösemann et al. (2023).

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 mit der gegenüber Submission 2022 unveränderten Methodik neu berechnet. Tabelle 324 vergleicht die Ergebnisse de vorliegenden Submission mit denen der letztjährigen Submission. Abweichungen gab es nur für die Jahre 2019 und 2020 aufgrund der für diese Jahre aktualisierten Aktivitätsdaten, siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 324: Vergleich der THG-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) zwischen Submission 2023 und 2022 (3.J) mit GWP nach IPCC AR5

CO_2eq	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2023, kt	0.42	5.3	44.7	365.1	1138.7	1375.4	1394.7	1657.4	1711.5	1769.1	1756.1	1731.0	1702.4	1695.2	1727.6
2022, kt	0.42	5.3	44.7	365.1	1138.7	1375.4	1394.7	1657.4	1711.5	1769.1	1756.1	1731.0	1702.4	1695.2	1695.3
2023 - 2022, kt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.001	32.33
2023 - 2022, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00004	1.9

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF Sektor 4)

6.1 Übersicht (CRF Sektor 4)

6.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen und -senken 1990 - 2021

Im LULUCF-Sektors (Common Reporting Framework Sektor 4) wird in Deutschland über positive (Quelle) und negative (Senke) CO_2-Emissionen der Kohlenstoffpools[85]

- ober- und unterirdische Biomasse
- Totholz, Streu (Tote organische Substanz)
- organische und mineralische Böden
- Holzprodukte (4.G)

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) berichtet. 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 und Hecken), 4.D, 4.E - (Emissionen aus den Kategorien 4.B Ackerland und 4.C Grünland im engeren Sinn (i.e.S) 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))

[85] 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).

Tabelle 325 zeigt eine Übersicht über das deutsche LULUCF-Berichtssystem, in der alle Landnutzungskategorien, Subkategorien und Pools sowie mögliche Übergangskategorien und THG-Emissionen tabellarisch zusammengefasst sind.

Tabelle 325: Übersicht über das Deutsche LULUCF-Berichtsystem: Landnutzungskategorien, Subkategorien und Pools, Übergangsmöglichkeiten und damit verbundene Emissionen an Treibhausgasen

Kategorie[1)]	Landnutzung/-änderung (Flächen)[2)]			Pools(Emissionen)[2)]					
	Verbleib	von	zu	Biomasse	Boden		Gewässer	Wildfeuer	DOM
					mineralisch	organisch			
forl	x			CO_2 [$EF_{Biomasse_forest_management}$]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir} [EF_{BZE} + Modell Yasso]	CO_2+DOC, N_2O, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$ [EF_{org_soil}IPCC default values_Wald]	/	CH_4, N_2O [$AD_{Offizialstatistik}$, $EF_{Waldbrand}$]	CO_2 [$EF_{DOM_forest_management}$]
forl		zu allen LUC, außer cro1, crow, croh, croo, crob, gra1, gra2, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [$EF_{Biomasse_deforestation}$]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir} [EF+Yasso]	CO_2+DOC, N_2O, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$, [3)]	/	/	CO_2 [$EF_{DOM_deforestation}$]
forl			von allen LUC, außer cro1, crow, croh, croo, cros, crox, gra1, set1[9)], wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [$EF_{Biomasse_afforestation}$]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir} [EF+Yasso]	CO_2+DOC, N_2O, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$ [EF_{org_soil}IPCC default values_Wald]	/	/	CO_2 [$EF_{DOM_afforestation}$]
cro1	x			/	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
cro1		zu allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [EF $cropland_{annuell}$]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$ N_2O [3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
cro1			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [EF $cropland_{annuell}$]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	CO_2, nur von forl
croh	x			/	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
croh		zu allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [EF croh]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O[3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
croh			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [EF croh]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	CO_2, nur von forl

Kategorie[1)]	Landnutzung/-änderung (Flächen)[2)]			Pools(Emissionen)[2)]					
	Verbleib	von	zu	Biomasse	Boden mineralisch	Boden organisch	Gewässer	Wildfeuer	DOM
croo	x			CO_2 [Modell Obst]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
croo		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Obst]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O[3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
croo			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Obst]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	CO_2, nur von forl
cros	x			CO_2 [Modell KUP]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
cros		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell KUP]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O[3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
cros			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell KUP]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	CO_2, nur von forl
crot	x			CO_2 [Modell Baumschule]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
crot		zu allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Baumschule]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O[3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
crot			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Baumschule]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	CO_2, nur von forl
crow	x			CO_2 [Modell Wein]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
crow		zu allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Wein]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O[3)]	/	/	zu forl, CO2
crow			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Wein]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	von forl, CO2
crox	x			CO_2 [Modell Weihnachtsbaum]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
crox		zu allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Weihnachtsbaum]	CO_2, N_2O [8)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O[3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
crox			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Weihnachtsbaum]	CO_2, N_2O [4)]	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$ [5)]	/	/	CO_2, nur von forl

Kategorie[1)]	Landnutzung/-änderung (Flächen)[2)]			Pools(Emissionen)[2)]					
	Verbleib	von	zu	Biomasse	Boden		Gewässer	Wildfeuer	DOM
					mineralisch	organisch			
gra1	x			/	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	/
gra1		zu allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [EF $grassland_{annuell}$]	CO_2, N_2O_{dir}, $N2O_{indir}$	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
gra1			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [EF $grassland_{annuell}$]	CO_2, N_2O_{dir}, $N2O_{indir}$	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$[5)]	/	/	CO_2, nur von forl
gra2	x			CO_2 [Modell Hecke/Feldgehölz]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+$CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [EF_{org_soil}IPCC default values]	/	/	/
gra2		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Hecke/Feldgehölz] [6)]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
gra2			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Hecke/Feldgehölz]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [EF_{org_soil}IPCC default values_Wald]	/	/	CO_2, nur von forl
gra3	x			CO_2 [Modell Hecke/Feldgehölz]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O	/	/	/
gra3		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Hecke/Feldgehölz] [6)]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O 3)	/	/	CO_2, nur zu forl
gra3			von allen LUC, außer forl, wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Hecke/Feldgehölz]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O	/	/	CO_2, nur von forl
wet1	x			CO_2 [Modell Terrestrische Feuchtgebiete]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O	/	/	/
wet1		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Terrestrische Feuchtgebiete]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [3)]	/	/	CO_2, nur zu forl
wet1			von allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Terrestrische Feuchtgebiete]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O	/	/	CO_2, nur von forl
wet2	x	/	/	/	/	/	/	/	/

Kategorie[1]	Landnutzung/-änderung (Flächen)[2]			Pools(Emissionen)[2]					
	Verbleib	von	zu	Biomasse	Boden		Gewässer	Wildfeuer	DOM
					mineralisch	organisch			
wet3	x			/	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [on-site emissions]	/	/	/
wet3		zu allen LUC, außer wet2, wet5, set2, othl		CO_2 [$EF_{peat_extraction}$]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [3]	CH_4 [EF $wet4_{org_soil}$] [7]	/	CO_2, nur zu forl
wet3			von allen LUC, außer wet2,wet4, wet5, set2	CO_2 [$EF_{peat_extraction}$]	/	CO_2, CH_4, N_2O [on-site emissions]	/	/	CO_2, nur von forl
wet3				/	/	CO_2 [off-site emissions]	/	/	/
wet4	x			/	/	/	CH_4 [EF $wet4_{org_soil}$] + CH_4 [EF $wet4_{min_soil}$]	/	/
wet4		/		/	/	/	/	/	/
wet4			nur von wet3	/	/	/	CH_4 [EF $wet4_{org_soil}$]	/	/
wet5	x	/	/	/	/	/	CH_4 [EF wet5]	/	/
set1	x			CO_2 [Modell Siedlung]	/	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O	/	CH_4, N_2O [Moorbrand]	/
set1		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2, othl		CO_2 [Modell Siedlung]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [3]	/	/	zu forl, CO_2
set1			von allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2	CO_2 [Modell Siedlung]	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O	/	/	von forl, CO_2
set2	x	/	/	/	/	/	/	/	/
othl	x			/	/	/	/	/	/
othl		zu allen LUC, außer wet2, wet4, wet5, set2		/	CO_2, N_2O_{dir}, N_2O_{indir}	CO_2+DOC, $CH_{4_org_soil}$+ $CH_{4_ditch\ org_soil}$, N_2O [3]	/	/	CO_2, nur zu forl
othl			/	/	/	/	/	/	/

1) Begriffsbestimmung s. Tabelle 335 Kapitel 6.1.2
2) Die Ausweisung von Flächen und die Berechnung der Emissionen erfolgen für alle Pools und Landnutzungskategorien auf Bundeslandebene
3) N_2O, CRF 3.D.a.6, bei LUC zu gra1und anderen Ackerlandkategorien (cro*)
4) N_2O, CRF 3.D.a.5, bei LUC von anderen Ackerlandkategorien (cro*)
5) N_2O, CRF 3.D.a.6
6) bei LUC zu forl, nur 50 % Verlust der Biomasse
7) nur bei LUC zu wet4
8) N_2O, CRF 3.D.a.5 bei LUC zu cro1, croo, cros, crot, crow, crox
9) Ausnahmen: Halde, Tagebau, Deponie zu Wald sind möglich

Abbildung 51, Abbildung 52 und Abbildung 53 geben für die vorliegende Submission 2023 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, 2020 und 2021 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 351).

Der Verlauf der Nettoemissionen von 1990 bis 2021 zeigt, dass der LULUCF-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 bis 2007 sowie 2020 und 2021 war der LULUCF-Sektor eine Quelle für Treibhausgase. Dies ist im Wesentlichen auf die geringere Senkenfunktion des Waldes durch verstärkte Holzeinschläge zurückzuführen. Hauptursache hierfür ist die Aufarbeitung von Waldschäden infolge unterschiedlicher Kalamitäten (z.B. Stürme, Trockeheit, Schädlingsbefall).

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 51: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Unterkategorien

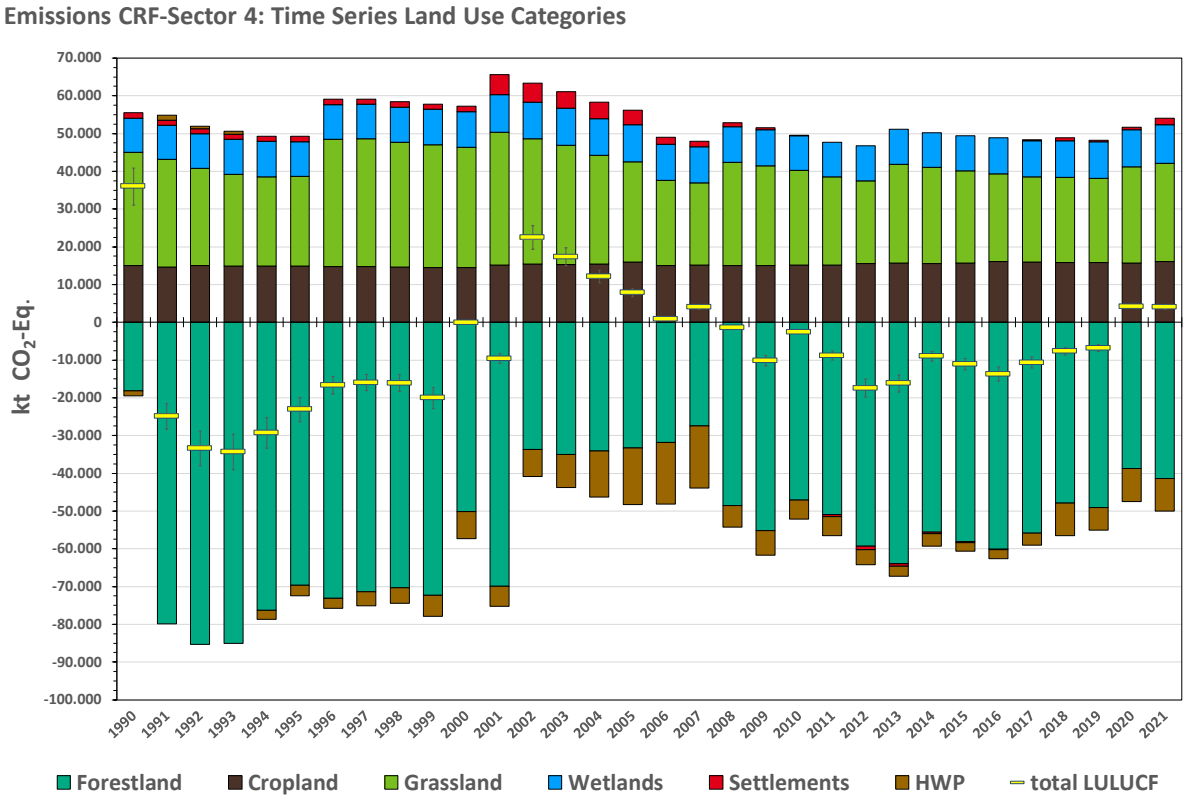


Abbildung 52: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Pools

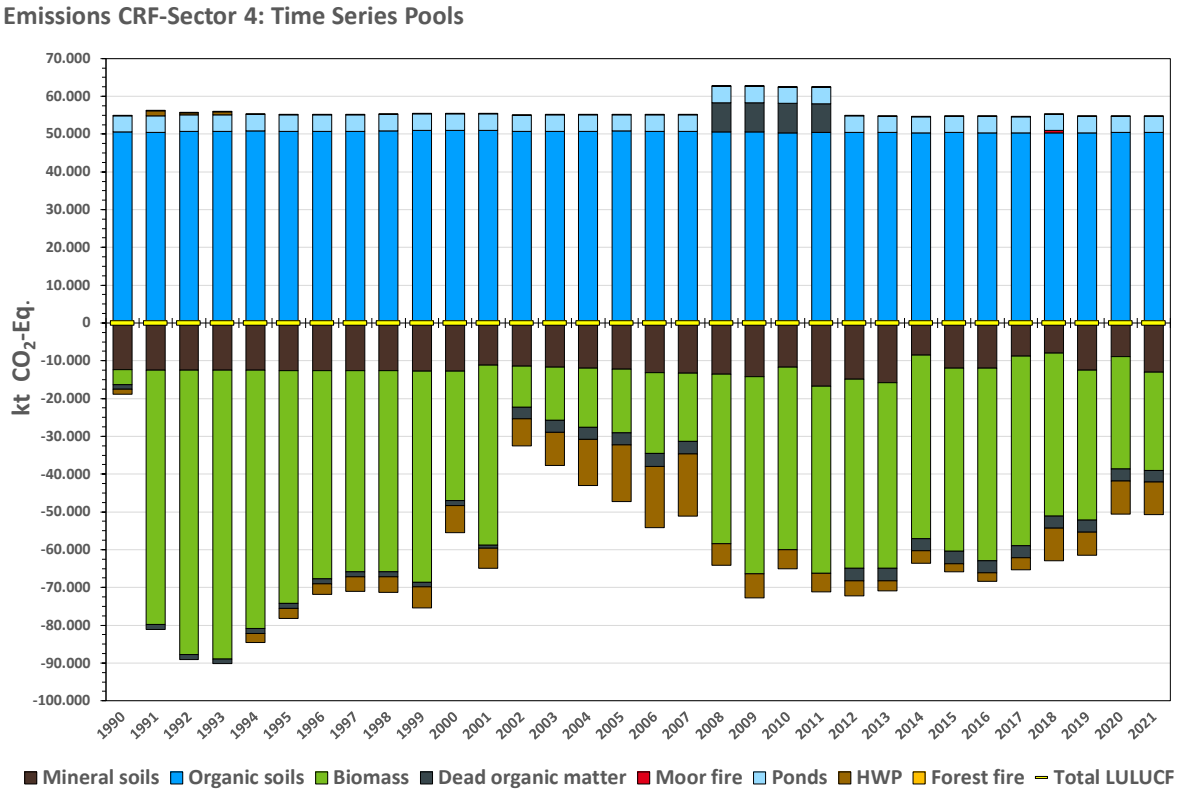
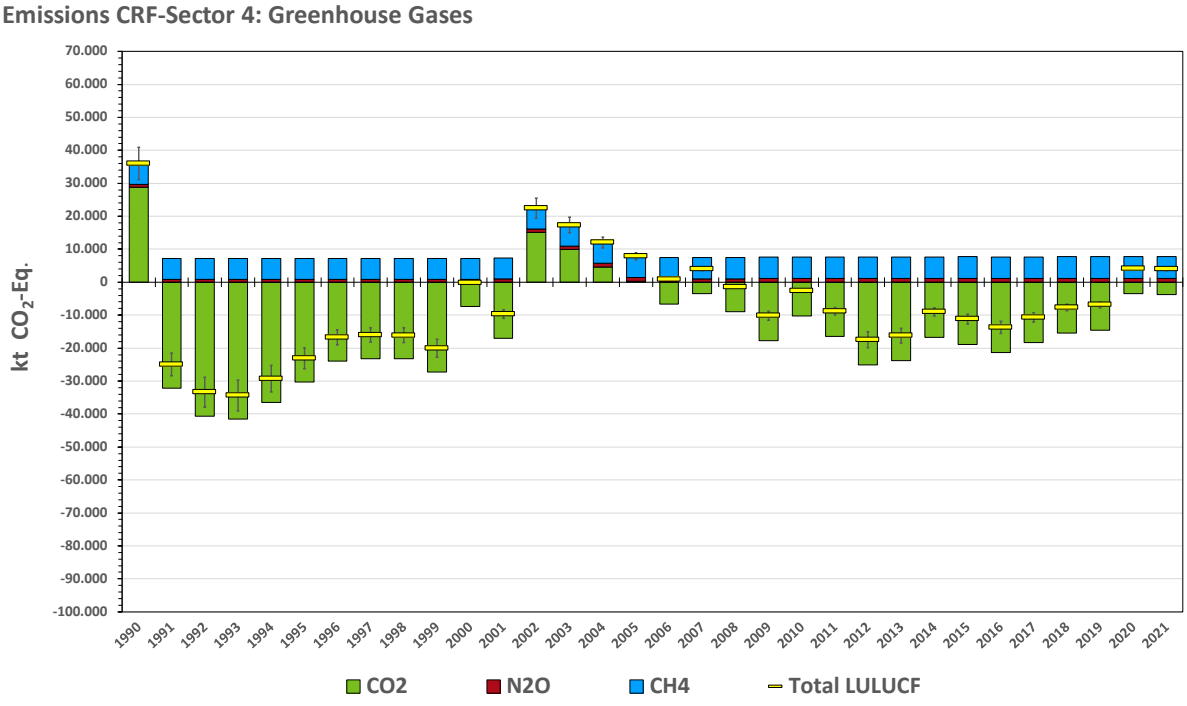


Abbildung 53: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Treibhausgasen (GHG)



Die Gesamtunsicherheit des deutschen LULUCF-Inventars (ohne Holzprodukte) beträgt 13,6 %. Ausführungen hierzu finden sich in den entsprechenden Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien sowie im Kapitel 6.1.2.10.

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 326 dargestellt, weitere Erläuterungen finden sich in Kapitel 6.2 (vergl. auch Kapitel 6.3).

Tabelle 326: Zuordnung der deutschen Berichtskategorien zu den IPCC-Landnutzungskategorien

IPCC-Kategorie	Deutsche Landnutzungskategorie bzw. Subkategorie		
	Kürzel	Volltext	Beschreibung
4.A Forest Land	forl	***Wald***	Laub-, Nadel- und Mischwaldflächen
4.B Cropland	**Ackerland**		Summe aus Ackerland$_{annuell}$, Hopfenanbauflächen,Weinanbauflächen, Obstanbauflächen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen
	cro1	***Ackerland$_{annuell}$***	Flächen zum Anbau von Feldfrüchten und Gemüse
	croh	***Hopfenanbauflächen***	Mit speziellen Vorrichtungen ausgestattete Agrarfläche für den Anbau von Hopfen
	crow	***Weinanbauflächen***	Weingärten sind mit speziellen Vorrichtungen ausgestattete Agrarflächen, auf denen Weinstöcke angepflanzt sind
	croo	***Obstanbauflächen***	Obstplantagen sind Flächen, die vorwiegend dem Intensivobstanbau dienen und mit Obstbäumen und Obststräuchern bestanden sind. Im Unterschied zu Streuobst handelt es sich hierbei um gleichmäßige und dichter angelegte Monokulturen.
	crot	***Baumschulen***	Baumschulen sind Flächen, auf denen Holzgewächse aus Samen, Ablegern oder Stecklingen unter mehrmaligem Umpflanzen (Verschulen) gezogen werden.
	crox	***Weihnachtsbaumkulturen***	Weihnachtsbaumkultur bezeichnet eine landwirtschaftliche Fläche, die vorrangig mit Weihnachtsbäumen bepflanzt ist
	cros	***Kurzumtriebsplantagen***	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.
4.C Grazing Land	**Grünland**		Summe aus Grünland i.e.S., Gehölzen und Hecken
	gra1	***Grünland im engeren Sinne***	Grünland im engeren Sinn (Wiesen, Weiden, Mähweiden, Nassgrünland, Hutungen....)
	gra2	***Gehölze***	Flächen, die mit einzelnen Bäumen, Baumgruppen, Büschen und Sträuchern bestockt sind und nicht unter die Wald-, Grünland i.e.S-Definition fallen
	gra3	***Hecken***	Hecken bestehen aus ein- oder mehrreihig, linear dicht beieinander stehender Sträucher (vereinzelt auch Bäume)
4.D Wetlands	**Feuchtgebiete**		Summe aus Terrestrischen Feuchtgebieten, Natürlichen Gewässern, Torfabbau sowie Stehenden und Fließenden künstlichen Gewässern
	wet1	***Terrestrische Feuchtgebiete***	Terrestrische Feuchtgebiete, die nicht unter eine der anderen Landnutzungskategorien fallen (z.B. naturnahe Moore)
	wet2	***Natürliche Gewässer***	Natürliche Wasserflächen und Wasserläufe
	wet3	***Torfabbau***	Flächen auf organischen Böden zur Torfgewinnung
	wet4	***Stehende künstliche Gewässer***	Künstliche stehende Gewässer (Wasserflächen), wie Stauseen, Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen sowie Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art (Ausnahme: Abwasser-behandlungsanlagen)
	wet5	***Fließende künstliche Gewässer***	Künstliche, fließende Gewässer (Wasserläufe), wie Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft (Ausnahme: Entwässerungsgräben auf organischen Böden), Hafenbecken an Binnengewässern und Kanäle
4.E Settlements	**Siedlungen**		Summe aus Siedlungen und Straßen
	set1	***Gebäude und Freiflächen***	Flächen zu Wohn-, Produktions- und Verkehrszwecken sowie innerstädtische Grünflächen und Flächen zur Freizeitgestaltung und Erholung
	set2	***Straßen***	Verkehrswege für die Nutzung von Straßenfahrzeugen und Fußgängern
4.F Other Land	othl	***Sonstiges Land***	Vegetationslose, nicht bewirtschaftete Flächen

Grundlegende Elemente und Schritte bei der Erstellung des LULUCF-Inventars

1. **Landnutzungsmatrix$_{jährlich}$ *[Area_ann]***: Jährliche Berechnung der Gesamtfläche für die Unterkategorien „verbleibende Landnutzung“ und „Landnutzungsänderung“ für die

Kategorien *Wald, Ackerland$_{annuell}$, Hopfen, Wein, Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen, Grünland im engeren Sinn, Gehölze, Hecken, terrestrische Feuchtgebiete, natürliche Gewässer, fließende künstliche Gewässer, stehende künstliche 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, 2020 und 2021. Für die Zeiträume zwischen diesen Jahren wurden die ermittelten Flächen den IPCC-Guidelines folgend (2006 IPCC Guidelines IPCC (2006b), 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 349 und Tabelle 350 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 265 (GWP 100 des IPCC AR5).
9. **Umrechnung von CH_4-Emissionen** in CO_2-Äquivalente erfolgt mit dem Faktor 28 (GWP 100 des IPCC AR5.

Die Submission 2023 wurde nach den Regelwerken

- 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b)
- 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)
- 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC)

zusammengestellt. Maßgebliche Maßnahmen zur Inventarverbesserung, die in dieser Submission zur Anwendung kamen und zu Neuberechnungen führten sind:

- Komplette Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in den Programmiersprachen R und C++ (siehe unten)
- Einführung zusätzlicher Landnutzungssubkategorien (s. Tabelle 326):
  - Hecken (unter der Landnutzungskategorie Grünland; s. Kapitel 6.2.3)
  - Natürliche Gewässer (unter der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete; s. Kapitel 6.2.4)
  - Stehende künstliche Gewässer (unter der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete; s. Kapitel 6.2.4)
  - Fließende künstliche Gewässer (unter der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete; s. Kapitel 6.2.4)
  - Straßen (unter der Landnutzungskategorie Siedlungen; s. Kapitel 6.2.5)
- Thematische, räumliche und zeitliche 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 Erfassung der Emissionen aus den neuen Landnutzungskategorien, inkl. Ermittlung der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren (s. Kapitel 6.6.2 und 6.8.2)
  - Einführung neuer regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie Gebäude und Freiflächen der Landnutzungskategorie Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.1.6) und der Landnutzungskategorie Sonstiges Land (s. Kapitel 6.1.2.1.7)
  - Implementierung flächendeckender, hochauflösender Karten regionalisierter Mineralbodenkohlenstoff- bzw. -stickstoffvorräte für die Landnutzungskategorien $\text{Ackerland}_{\text{annuell}}$, Grünland und Wald in die Methodik zur Erfassung der THG-Emissionen aus Mineralböden (s. Kapitel 6.1.2.1ff)
  - Mineralböden Wald: Erweiterung der „stock-difference-method“ mit der computergestützte Modellierung mit YASSO15 und Verbindung beider Methoden mit der „overlap method“(s. Kapitel . 6.1.2.1ff und Kapitel 6.4.2.5ff)
  - Waldbrand: Berücksichtigung der Biomasse der Pools Totholz und Streu bei Bränden, beginnend mit dieser Submission (s.Kapitel 6.4.2.7.5)

Abgesehen von diesen Änderungen kamen die Methoden, Datenquellen und Emissionsfaktoren des Vorjahres zur Anwendung.

Implementierung des Inventarmodells

Die Berechnungen zur Ermittlung aller Emissionen und inventarrelevanten Größen für den LULUCF-Sektor Deutschlands werden mittels eines digitalen Programmsystems gekoppelt mit einem kombinierten Geoinformations-/Datenbanksystem vollständig automatisiert umgesetzt. Für Submission 2023 wurde das Programmsystem komplett neu implementiert, um die steigenden Anforderungen an die Performance als Folge der Umsetzung von Reviewforderungen erfüllen zu können. Das Inventarmodell ist als Package in R (The R Core Team, 2022) implementiert und nutzt stark die R-Packages data.table (Dowle et al., 2022) und Rcpp

(Eddelbuettel & François, 2011), um eine ausreichende Performance zu gewährleisten. Als Interface für die LULUCF-Datenbank dienen die R-Packages DBI[86] (Wickham & Müller, 2022) und RPostgres (Wickham et al., 2022). Die Software wird in einer internen Versionskontrollumgebung[87] verwaltet.

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, 2006b), als Differenz zwischen den jeweiligen Vorräten vor und nach den entsprechenden Landnutzungsänderungen berechnet. Die Emissionsfaktoren sind landesspezifisch. Für die Landnutzungskategorien Wald, $\text{Ackerland}_{\text{annuell}}$ und Grünland wurden sie erstmalig aus Karten der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte von Mineralböden Deutschlands entnommen. Die Karten basieren auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebungen für Wald und Landwirtschaft, die mittels unterschiedlicher rechnergestützter Methoden, in Abhängigkeit von zahlreichen Standortsfaktoren (z.B. Klima, Topographie, Geologie, Pedologie, Nutzung) flächendeckend, georeferenziert regionalisiert wurden (siehe Kapitel 6.4.2.5.3).

Für die Landnutzungskategorie Sonstiges Land wurde ein repräsentativer, flächengewichteter Kohlenstoffvorrat für Mineralböden bis 30 cm Bodentiefe aus den Daten der landwirtschaftlichen Bodeninventur ermittelt. Für die Kategorie Siedlungen wurden landesspezifische Kohlenstoffvorräte basierend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft, in Abhängigkeit von der Richtung der Landnutzungsänderung, der Vornutzung und dem Versiegelungsgrad der Flächen, abgeleitet (siehe Kapitel 6.1.2.1.6). Die Berichterstattung für Mineralböden folgt somit einem Tier 2 bzw. 3-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 Verbleibkategorie Wald werden erstmalig die Kohlenstoff- und Stickstoffvorratsänderungen in Mineralböden ab dem Jahr 2009 auf jährlicher Basis mit dem Modell Yasso berechnet und die entsprechenden Bodeneigenschaftskarten jährlich, flächendeckend aktualisiert (Kapitel 6.4.2.5ff.).

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. Für

[86] DBI https://dbi.r-dbi.org/
[87] GitLab https://about.gitlab.com/

Wald, Ackerland$_{annuell}$ und *Grünland* werden die Zielwerte den jeweiligen Karten entnommen, die jährlich aktualisiert werden. Die Gesamtänderung wird gemäß IPCC-Default (IPCC, 2006b) 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).

Für die Berücksichtigung der 20-jährigen Übergangszeit wird die für die jeweilige Übergangskategorie ermittelte gesamte Vorratsänderung (EF_ann) durch 20 dividiert. So erhält man die impliziten Emissionsfaktoren für die Übergangskategorien für Landnutzungsänderungen aus einer Verbleibkategorie heraus (IEF_20y).

$$\Delta C_i = \begin{cases} \frac{(C_{final,i} - C_{initial,i})}{20}, i = 0 \end{cases}$$

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 + $C_{initial,\ i}$).

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. Die ist 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 an allen Punkten zu jeder Zeit bekannt sein. Während der Zielvorrat (C_{final}) durch die entsprechende Bodenkarte vorgegeben wird, 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: ΔC/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.

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:

- Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE-Wald I und BZE-Wald II; Wellbrock et al. (2016))
- Ergebnisse der Bodenzustandserhebung auf landwirtschaftlichen Böden in Deutschland (BZE-LW; Jacobs et al. (2018)
- Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000; BGR 1995 & 1997, Düwel et al. (2007))
- Karte der Bodenregionen und Bodengroßlandschaften 1:5.000.000 (BGL 5000; BGR 2008)
- Karte der Bodenklimaräume (ROSSBERG et al., 2007)
- Karte organischer Böden (ROSSKOPF et al., 2015)
- Karten aus dem LUCAS – Programm
- Stickstoff, pH (BALLABIO et al., 2016)
- Tongehalt, verfügbare Wasserkapazität (BALLABIO et al., 2016)
- Geomorphografische Karte Deutschlands (BGR 2007)
- Hydrogeologische Karte Deutschlands (BGR & SDG 2019)
- Karte der Netto-Bodenerosion und der Ablagerungsraten in Europa (BORELLI et al., 2018)
- Digitales Höhenmodell Europas (EU-DEM; European Union Copernicus Land Monitoring Service and EEA, 2016)
- Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, div. Jahre)
- 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)
- Corine Land Cover aus den Jahren 1990 und 2000 für die Ermittlung der Landnutzungsänderungen von 1990 zu 2000
- INSPIRE-Standardgitter mit einer Auflösung von 100 m neu abgetastet (Eurostat Grid Generation Tool for ArcGIS, https://www.efgs.info/information-base/best-practices/tools/eurostat -grid-generation-tool-arcgis/, letzter Zugriff: 10. Dezember 2020)
- IPCC-Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006b)

Aufgrund der unterschiedlichen Datenlage für die einzelnen Landnutzungskategorien wurden standortspezifische Mineralbodenkohlenstoff- und -stickstoffvorräte für unterschiedliche Landnutzungskategorien getrennt bestimmt. Die Werte für den *Wald*, *Ackerland*$_{annuell}$ und die Grünland-Kategorien entstammen Karten von Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten der Mineralböden Deutschlands, die basierend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE-Wald I und BZE-Wald II; WELLBROCK et al. 2016) und der Landwirtschaft (JACOBS et al. 2018) entwickelt wurden und mit dieser Submission erstmalig zur Anwendung kommen. Diese Landnutzungskategorien umfassen derzeit ca. 85 % der Fläche Deutschlands und stellen somit die Hauptnutzungen dar. Die unterschiedlichen Modelle zur Kartenerstellung sind für den Wald in Kapitel 6.1.2.1.3, für *Ackerland*$_{annuell}$ und *Grünland* in Kapitel 6.1.2.1.4 und Kapitel 6.1.2.1.5 beschrieben.

Für die perennierenden Ackerlandsubkategorien *Hopfen, Obstanbau, Weinanbau, Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen* und *Kurzumtriebsplantagen* (Kapitel 6.1.2.1.4) sowie

Terrestrische Feuchtgebiete und *Sonstiges Land* (Kapitel 6.1.2.1.7) wurden flächengewichtete, nutzungs- und bodenspezifische, durchschnittliche Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte für Mineralböden mittels der Daten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft ermittelt. Die Mineralbodenkohlenstoffvorräte für Siedlungsböden wurden aus den Ergebnissen dieser Bodenzustandserhebungen abgeleitet (s. Kapitel 6.1.2.1.6).

6.1.2.1.3 Wald

Die Berichterstattung bezüglich THG-Emissionen aus Mineralböden im Wald weist, beginnend mit dieser Submission, mehrere Neuerungen auf:

1. Die Berichterstattung erfolgt methodisch unterschiedlich für zwei Zeiträume.
    - Für den Zeitraum 1990 - 2008 erfolgt die Ermittlung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorratsunterschiede in Mineralböden wie bisher nach der „stock-difference-methode“ (Kapitel 6.4.2.5.4).
    - Für den Zeitraum ab 2008 basieren die Ergebnisse auf dem mathematischen Modell Yasso15 (Järvenpää et al., 2018; Tuomi et al., 2009). Die Zweiteilung wurde notwendig, da erst seit dem Jahr 2008 ausreichend Input-Datensätze vorliegen, die eine korrekte Berechnung der organischen Kohlenstoffvorräte in Mineralböden mit Yasso15 ermöglichen.
    - Die beiden Ansätze wurden mittels der Überlappungsmethode (overlap method) zusammengeführt (2006 IPCC Guidelines). Das methodische Vorgehen wird ausführlich in Kapitel 6.4.2.5.3und Kapitel 6.4.2.5.4 beschrieben.
2. Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen (Grueneberg et al. (2014)) bezüglich des Kohlenstoff- und Stickstoffvorrats von Mineralböden im Wald wurden regionalisiert
    - Anhand der Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Wald, sowie der Legendeneinheiten der BÜK 1000 sowie mittels Yasso15 wurden Regionen gleicher Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Wald ausgewiesen, in Abhängigkeit von pedologischen, geologischen und klimatischen Gegebenheiten. Die Ergebnisse werden jährlich, in Form zeitlich dynamischer, georeferenzierter Karten dargestellt (siehe Kapitel 6.4.2.5.3). Die in den Karten ausgewiesenen Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte sind Grundlage aller Berechnungen im Zusammenhang mit mineralischen Waldböden.

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 (BZE-LW) 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-LW sind repräsentativ sowohl für die Verteilung bodenkundlicher Charakteristika und Kennwerte, als auch für die aktuelle landwirtschaftliche Landnutzung Deutschlands.

Ackerland mit annuellen Kulturen

Für die Landnutzungskategorie *Ackerland*$_{annuell}$ wurden durch Regionalisierung der Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft flächendeckende Rasterkarten der Bodenkohlenstoffvorräte und C/N-Verhältnisse für die Mineralbodenflächen Deutschlands auf

einem Raster von 100 x 100 m erstellt. Sie wurden mittels Verfahren des Ensemble Learnings ermittelt. Dies erfolgt durch die Anwendung von Algorithmen aus dem Maschinenlernen auf Basis von Entscheidungsbaum-Ensembles, die mit unabhängigen Teildatensätzen erzeugt werden. Grundlage waren die Daten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft sowie eine Vielzahl an Kovariaten aus den Bereichen

- Boden, Geologie, Geomorphologie, Hydrologie
- Klima
- Organische Kenngrößen, Vegetationsindices
- Topographie, Relief

Um die Multikollinearität des Modells zu verringern, wurden stark miteinander korrelierende Kovariaten (R > 0,9) aus dem Ensemble entfernt; letztlich fanden 34 Parameter Eingang in die Modellrechnungen. Nähere Erklärungen zum Verfahren und den Kovariaten finden sich bei (Sakhaee et al.) und (Gebauer et al.).

Beim C/N-Modell wurden die Algorithmen *Random Forest* und *Support Vector Machine for Regression* als Basislerner verwendet. Die Vorhersagen der Basislerner wurden dann gemittelt, um die endgültige Vorhersage zu liefern. In den meisten Fällen des Ensemblelernens wird die Abstimmung jedes Basislerners unabhängig durchgeführt. Die Hyperparameter-Abstimmung des vorliegenden Ensemble-Ansatzes war jedoch Teil des Trainings-/Lernprogramms (Shahhosseini et al., 2022).

Das SOC-Modell wurde mit einer neuartigen Methode, *Regressor Chaining* (Spyromitros-Xioufis et al., 2016), erstellt. Diese Methode kann die Vorhersage von Bodeneigenschaften verbessern, indem sie interkorrelierte Parameter nutzt (Santana et al., 2021). So wurde zuerst ein *Regressor Chaining*-Modell entwickelt, welches C/N-Verhältnisse unter Verwendung von *Random Forest* vorhersagte. Die vorhergesagten C/N-Verhältnisse werden dann in einem Ensemble-Ansatz (*Random Forest* und *Support Vector Machine for Regression*) für die SOC-Vorhersage verwendet. Ähnlich wie beim Ensemble-Ansatz, der zum Erstellen des C/N-Modells verwendet wurde, war auch das Hyperparameter-Tuning des *Regressor Chaining*-Ansatzes ein Teil des Trainings/Lernens. Weitere Details und Erläuterungen zur *Regressor Chaining*-Methode finden sich bei Spyromitros-Xioufis et al. (2016). Die Hyperparameter-Abstimmung aller Modelle erfolgte mit dem *Differential Evolution (DE)-Algorithmus* (Sakhaee et al.).

Zur Überprüfung der Robustheit der Modelle bei der Kombination von Hyperparameter-Tuning und Modellbewertung wurde ein stratifizierter, hierarchischer/verschachtelter („nested“) Ansatz der Kreuzvalidierung umgesetzt (Sakhaee et al.).

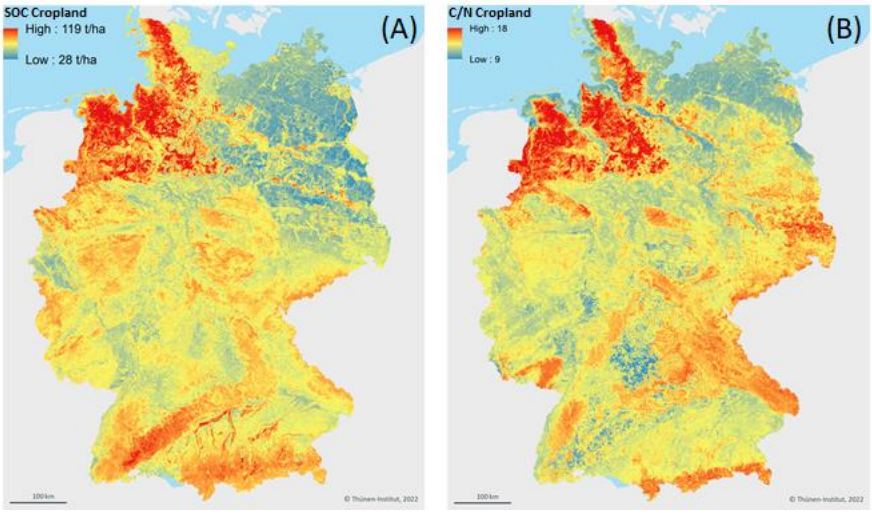


Abbildung 54: Karte der (A) SOC-Vorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und (B) C/N- Verhältnisse in den Mineralböden Deutschlands, bewirtschaftet als Ackerland mit annuellen Kulturen (*Ackerland$_{annuell}$*)

Abbildung 54 zeigt die so ermittelten Rasterkarten. Die gemessenen (Ergebnisse der BZE-LW, Jacobs et al. (2018)) und vorhergesagten Mittelwerte und Mediane der C/N-Verhältnissse und Bodenkohlenstoffvorräte (siehe Abbildung 54) sowie die zur Einschätzung des Modells notwendigen statistischen Kennwerte sind in Tabelle 327 dargestellt.

Tabelle 327: Mittelwerte und Mediane der gemessenen und vorhergesagten C/N-Verhältnisse und Bodenkohlenstoffvorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] in Mineralböden unter annuellem Ackerland (*Ackerland$_{annuell}$*)

Ackerland$_{annuell}$		Lagemaße		Statistische Kennwerte Modellgüte				
		Mittel	Median	RMSE	MAE	MAPE [%]	Bias [%]	Anzahl
C/N	gemessen	11,10	10,43	1,5	0,98	8,39	-0,02	2204
	vorhergesagt	11,12	10,57					
SOC [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]	gemessen	61,18	55,58	20,92	13,84	23,24	-0,05	2204
	vorhergesagt	59,04	57,11					

Ackerland mit perennierenden Kulturen

Die im Rahmen der BZE-LW untersuchte Anzahl an Bodenprofilen auf Standorten mit Sonderkulturen bzw. perennierender Biomasse (Obst, Wein, Hopfen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen) war sehr gering. Daher war eine Regionalisierung der Ergebnisse im Hinblick auf eine Karte nicht möglich.

Für die Subkategorien Hopfen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen war die Standortanzahl sogar zu gering, um für diese Kulturen spezifische mittlere Mineralbodenkohlenstoffvorräte ableiten zu können, da folglich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen diesen Subkategorien nachgewiesen bzw. berechnet werden konnten. 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 größeren Häufigkeit gegenüber den anderen Sonderkulturen, spezifische Mineralbodenkohlenstoffvorräte ausgewiesen werden, die sich signifikant von allen anderen Sonderkulturen und untereinander unterscheiden. Die Weinanbaugebiete Deutschlands liegen im Wesentlichen in der gleichen Klimazone, weshalb sich eine weitere Stratifizierung der Böden hinsichtlich des Klimaeinflusses erübrigt. Dagegen liegen die beiden Hauptobstanbaugebiete Deutschlands, im Norden (Altes Land) und im äußersten Süden (Bodenseeregion), in unterschiedlichen Klimazonen (Sakhaee et al., 2022) . Ein Vergleich der Kohlenstoffvorräte der Mineralböden von Obstanbaugebieten des Nordens mit denen des Südens zeigt bezüglich des mittleren Bodenkohlenstoffvorrats zwar deutliche Unterschiede (80 t C/ha gegenüber 66 t C/ha), aber diese sind aufgrund der absoluten Anzahl der Stichproben als auch aufgrund des sehr großen Range (93 t C/ha im Norden, im Süden 60 t C/ha) nicht statistisch signifikant. Aus diesem Grunde kommt bundesweit ein einheitlicher Wert für Obstbau zur Anwendung.

Die Werte der mittleren Kohlenstoffvorräte für Mineralböden der einzelnen Ackerlandsubkategorien sind in Tabelle 328 dargestellt.

Tabelle 328: Mittlerer flächenbezogener Mineralbodenkohlenstoffvorrat bis 30 cm Bodentiefe [t C ha^{-1} 30cm^{-1}] und dessen Unsicherheiten [%] für Ackerflächen mit annuellen und perennierenden Kulturen

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1}]	Unsicherheit [%]
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

6.1.2.1.5 Grünland

Die Landnutzungskategorie *Grünland* setzt sich aus den Subkategorien *Grünland im engeren Sinne, Gehölze* und *Hecken* zusammen (vergl. Kap. 6.2.3). Bezüglich der Ausprägung der Eigenschaften der Mineralböden dieser Subkategorien bzw. deren Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten wird unterstellt, dass diese sich nutzungs- und lagebedingt nicht signifikant unterscheiden. Daher wurden die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte der Mineralböden für alle drei Subkategorien einheitlich aus den Ergebnissen für Grünland der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft abgeleitet (Jacobs et al., 2018).

Analog zum *Ackerland$_{annuell}$* wurde eine flächendeckende Karte der C-Vorräte und der C/N-Verhältnisse der Grünlandböden Deutschlands, basierend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft und zahlreicher Kovariaten, erstellt. Eine Kurzbeschreibung des methodischen Vorgehens ist in Kapitel 6.1.2.1.4 aufgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der grundlegenden Methodik findet sich bei (Sakhaee et al.). Die Rasterkarten sind in Abbildung 55, die gemessenen und geschätzten Lagemaße sowie einige statistische Kennwerte zur Beurteilung der Güte des Vorhersagemodells in Tabelle 329 dargestellt.

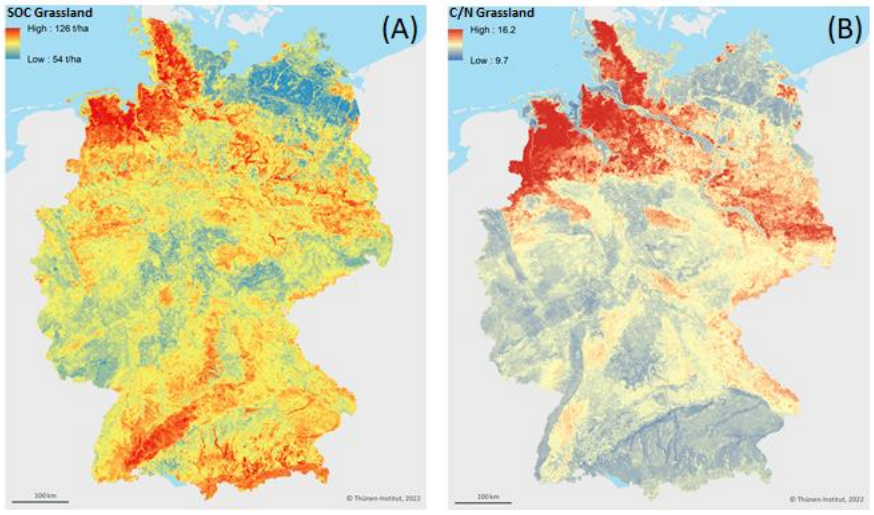


Abbildung 55: Karte der (A) SOC-Vorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und (B) C/N- Verhältnisse in den Mineralböden Deutschlands unter Grünland

Tabelle 329: Mittelwerte und Mediane der gemessenen und vorhergesagten C/N-Verhältnisse und Bodenkohlenstoffvorräte [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] in Mineralböden unter *Grünland*

Ackerland$_{annuell}$		Lagemaße		Statistische Kennwerte Modellgüte				
		Mittel	Median	RMSE	MAE	MAPE [%]	Bias [%]	Anzahl
C/N	gemessen	11,13	10,52	1,75	1,08	8,97	-0,01	740
	vorhergesagt	11,09	10,68					

SOC [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]	**gemessen**	88,09	83,21	30,48	21,42	27,57	-0,1	740
	vorhergesagt	59,04	57,11					

6.1.2.1.6 Siedlungen

Die Ausführungen im Folgenden beziehen sich nur auf die Landnutzungssubkategorie *Gebäude- und Freiflächen*, da die Einführung der Subkategorie *Straßen* mit dieser Submission zunächst nur statisch erfolgte (siehe Kapitel 6.1.1). Daher werden die Bezeichnungen *Siedlungen* sowie *Gebäude- und Freiflächen* in diesem Kapitel synonym verwendet, wenn auf eine weitergehende Differenzierung nicht ausdrücklich hingewiesen wird.

Emissionen infolge aktiver Baumaßnahmen

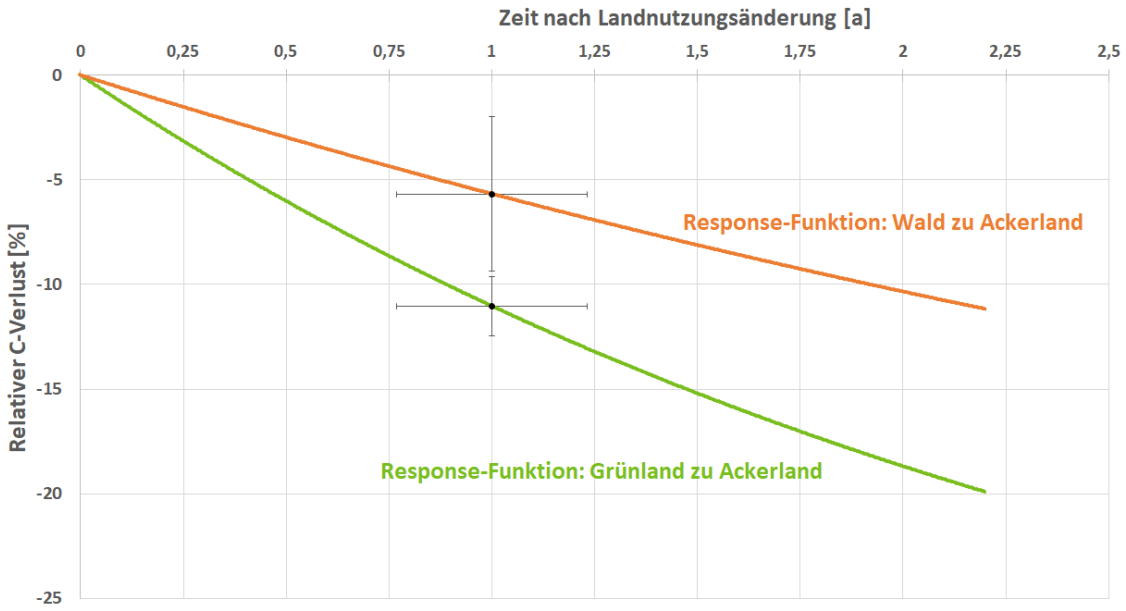
Im Falle einer Landnutzungsänderung hin zu Siedlungen, wird der zu berichtende humose Oberboden (30 cm Bodentiefe) auf der betroffenen Fläche vollständig abgetragen. Nach der deutschen Gesetzgebung ist der Mutterboden jedoch besonders zu schützen (§ 202 Bundesanzeiger Verlag (2015)) und muss im Falle von Baumaßnahmen unvermischt, geschützt und konservierend gelagert, im Falle einer Versiegelung lateral, unkontaminiert und unvermischt verbracht werden (BMJ & BfJ, 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, dass es gute Praxis ist, die potentiellen Kohlenstoffverluste um den Anteil des lateral verbrachten Bodens zu reduzieren (IPCC (2006b), 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 und müssen daher 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) (s. Abbildung 56). Infolge derartiger Landnutzungsänderungen kommt es ebenfalls zu massiven, anhaltenden Störungen des Oberbodens und einer verstärkten Belüftung desselben.
- Grünland zu Ackerland: ΔC_{SOC}_Ini_prev = 36,11*[1-exp(-t/2,74)]
- Wald zu Ackerland: ΔC_{SOC}_Ini_prev = 32,19*[1-exp(-t/5,15)]
- Δ CSOC_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

- Funktion Grünland zu Ackerland: -11,0 %
- Funktion Wald zu Ackerland: -5,7 %

Abbildung 56: 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 *Grünland* zu *Siedlung* 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 56) 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 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 und dies 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 (im vorliegenden

NIR die Landnutzungskategorie *Straßen*), 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 19, die den oben aufgeführten Unterstellungen Rechnung trägt.

Gleichung 19:

$$SOC_{min_set} = SOC_{Ini_prev} * (AF_{unversiegelt} * CF_{unversiegelt} + AF_{Gebäude} * CF_{Gebäude})$$

SOC_{min_set}: Organischer Mineralbodenkohlenstoffvorrat der Subkategorie *Gebäude und Freilandflächen* 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 = 0,6; 60 % unversiegelter Flächenanteil an der Fläche der Subkategorie *Gebäude und Freilandflächen*, gemäß der Unterstellungen in Kapitel 6.2.5
$CF_{unversiegelt}$: Kohlenstofffaktor unversiegelte Fläche = 1; 100 % SOC_{Ini_prev}
$AF_{Gebäude}$: Flächenfaktor = 0,4; 40 % versiegelter Gebäudeflächenanteil an der Fläche der Subkategorie *Gebäude- und Freilandflächen*, gemäß der Unterstellungen in Kapitel 6.2.5
$CF_{Gebäude}$: Kohlenstofffaktor $Gebäudefläche_{versiegelt}$ = 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 auf Bundeslandebene regionalisierter, 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 der jeweiligen Bundesländer. Zur Abschätzung des tatsächlichen flächenbezogenen Vorrates kommt Gleichung 19 zur Anwendung. Die Unsicherheit der Abschätzung der Flächenzuteilung wird mit 10 % angenommen. So ergeben sich für die *Gebäude und Freilandflächen*, deren Vornutzung nicht bekannt ist, die in Tabelle 330 aufgeführten Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte für Mineralböden in den einzelnen Bundesländern. Die so ermittelten Vorräte werden allen weiteren Berechnungen mit Stadtböden an diesen Punkten zugrunde gelegt.

Tabelle 330: Mittlere Kohlenstoff- [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}] und Stickstoffvorräte [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}] in Mineralböden auf Siedlungsflächen (Subkategorie *Gebäude und Freiflächen*) mit Versiegelungskorrektur ($SOC_{min_set_1990}$ bzw. $N_{min_set_1990}$) und deren Unsicherheiten [%]

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]	Unsicherheit C [%]	Stickstoffvorrat [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}]	Unsicherheit N [%]
Brandenburg	38,9	28,2	3,1	27,2
Berlin	39,2	37,2	3,2	44,9
Baden-Württemberg	43,6	18,6	4,2	18,8
Bayern	43,0	18,5	4,1	17,9
Bremen	55,7	42,1	5,0	31,4
Hessen	36,1	27,8	3,5	31,4
Hamburg	50,1	92,0	3,5	77,6
Mecklenburg-Vorpommern	35,3	32,1	3,1	30,1
Niedersachsen	48,9	22,0	3,8	20,3
Nordrhein-Westfalen	42,6	19,2	3,7	18,3
Rheinland-Pfalz	37,7	21,0	3,8	21,6
Schleswig-Holstein	51,6	30,4	4,0	23,9
Saarland	42,4	34,5	4,0	46,0
Sachsen	37,7	28,7	3,2	29,0
Sachsen-Anhalt	44,0	30,7	3,8	32,5
Thüringen	40,2	22,6	3,8	23,0

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

Terrestrische Feuchtgebiete

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 & 1997);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. Die so für die einzelnen Leitbodenassoziationen ermittelten Flächenanteile 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 331).

Tabelle 331: 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

Sonstiges Land

Die der BÜK 1000 (BGR) zugrunde liegende Datenbank weist nahezu keine Leitprofile für Böden auf *Sonstigem Land* aus, lediglich für Wald-, Acker- und Grünlandstandorte. Aus den, für diese Landnutzungskategorien, in der Legende hinterlegten Bodeneigenschaften, wurden bisher die Kohlenstoffvorräte für Mineralböden abgeleitet. Diese waren mit 56 t C/ha sehr hoch und beruhten ausschließlich auf Schätzwerten. Daher musste zur Verbesserung des Inventars eine Methode zur Ableitung des Kohlenstoffvorrats für Mineralböden unter *Sonstigem Land* entwickelt werden, die auf vorhandenen, gemessenen Daten basiert und regionale Standortfaktoren berücksichtigt. Deshalb wurde zur Abschätzung der Datensatz der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018) zugrunde gelegt. Da es sich bei *Sonstigem Land* i.d.R. meist um vegetationslose Flächen handelt, die überwiegend sehr geringe Gehalte an organischer Bodensubstanz aufweisen aber durchaus auch deutlich mit organischer Substanz angereichert sein können (z.B. im Einzugsbereich von Gewässern), wurde der jeweils geringste in der BZE-LW aufgenommene Wert eines Bundeslandes für die Abschätzung des mittleren Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorrats für Mineralböden verwendet. Weiter wurde unterstellt, dass dieser Wert die obere Schranke der Bodenkohlenstoff- bzw. -stickstoffvorräte der Landnutzungskategorie *Sonstiges Land* für das jeweilige Bundesland repräsentiert. Der Mittelwert wurde dann anhand der Standardabweichung der C- und N-Vorräte aller der jeweiligen Bestimmung zugrunde liegender Mineralbodenstandorte bestimmt. Die so auf regionaler Ebene der Bundesländer ermittelten Werte für die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte von Mineralböden werden, beginnend mit dieser Submission, für alle Emissionsberechnungen im Zusammenhang mit der Landnutzungskategorie *Sonstiges Land* genutzt. Die mittleren Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte sind in Tabelle 332 aufgeführt.

Tabelle 332: Mittlere Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte [t C ha^{-1}] und deren Unsicherheit (Standardabweichung [%]) in Mineralböden auf *Sonstigem Land* bis 30 cm

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha^{-1} 30 cm^{-1}]	Unsicherheit C [%]	Stickstoffvorrat [t N ha^{-1} 30 cm^{-1}	Unsicherheit N [%]
Brandenburg	10,3	44,0	0,9	40,5
Berlin	29,1	30,1	2,5	14,4
Baden-Württemberg	10,0	21,1	1,0	22,1
Bayern	10,0	24,6	0,9	24,8
Bremen	23,1	37,1	2,0	37,1
Hessen	21,5	19,2	2,0	19,8
Hamburg	21,1	50,2	2,2	40,2
Mecklenburg-Vorpommern	13,4	35,2	1,7	29,0
Niedersachsen	19,3	35,6	1,1	26,3
Nordrhein-Westfalen	16,8	26,1	2,2	20,8
Rheinland-Pfalz	7,6	18,3	1,1	19,1
Schleswig-Holstein	17,9	36,2	1,7	26,8
Saarland	32,8	19,9	1,8	25,3
Sachsen	22,1	25,9	1,9	23,3
Sachsen-Anhalt	17,8	28,2	1,6	28,7
Thüringen	15,1	29,2	1,6	29,0

6.1.2.1.8 Unsicherheiten

Falls nicht explizit ausgewiesen, wird immer die Hälfte des 95-% Konfidenzintervalls als Unsicherheit angegeben und bei nicht normalverteilten Stichproben mit oberer und unterer

Schranke.. 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 (Wellbrock et al. (2016); siehe Kapitel 6.4.3.3) und die für die Landnutzungskategorien *Ackerland$_{annuell}$, Hopfen, Wein , Obst, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen* und *Kurzumtriebsplantagen, Terrestrische Feuchtgebiete, Siedlungen* und *Sonstigem Land* aus den Messwerten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft berechnet (Jacobs et al.). Die Unsicherheiten für *Ackerland$_{annuell}$* und *Grünland* wurden aus den von dem Modell zur Kartenerstellung berechneten Interquartilsabständen abgeleitet.

6.1.2.1.9 Geplante Verbesserungen

Mit dieser Submission hat Deutschland die Empfehlung des ERT aus dem Review-Prozess 2020 umgesetzt (ARR 2020: L.8, Table 5) und die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte von Mineralböden regionalisiert. Die Ergebnisse wurden in flächendeckenden, hochauflösenden, georeferenzierten und dynamisch fortzuschreibenden thematischen Karten festgehalten. Außerdem wurde die Berichterstattung bezüglich Mineralböden der Verbleibkategorie Wald mit den Ergebnissen des mathematischen Modells YASSO15 ergänzt.

Geplante Verbesserungen sind in den nächsten Jahren:

- Implementierung regionalisierter Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte für die Mineralböden der Landnutzungskategorie *Terrestrische Feuchtgebiete*
- Einführung von Modellen zur Berechnung der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorratsänderungen in Mineralböden in der Landnutzungskategorie *Ackerland*. Voraussetzung hierfür ist die Entwicklung eines Modells zur Ableitung von flächendeckenden, regionalisierten Bewirtschaftungsdaten aus dem Datensatz des InVeKoS (in Arbeit)
- Einführung modellgestützter Berechnung der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorratsänderungen in Mineralböden der Landnutzungskategorie *Grünland*. Für Modelle im Grünlandbereich gibt es derzeit keine wirklich belastbaren Validierungsdatensätze. Voraussetzung hierfür sind daher Ergebnisse der Wiederholungsbeprobung der Bodenzustandserhebung (gestartet 2022).

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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[88] 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 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.

[88] www.organische-boeden.de

- Datenselektion (Minimalkriterium): In Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5, Sponagel (2005)) und die Vorgaben für organische Böden gemäß IPCC (2006b) 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 & 1997) 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 333 zeigt die Flächen organischer Böden nach Landnutzungskategorien. Die regionale Verteilung der Wasserstände in organischen Böden, die Grundlage zur Berechnung der Emissionen ist, 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.

Tabelle 333: Flächen organischer Böden und der Entwässerungsgräben nach Landnutzungskategorien für das Jahr 2021

	Fläche organischer Böden [ha]	Fläche Entwässerungsgräben [ha]
Wald	278.080	3.164
Ackerland	328.971	3.152
Grünland i.e.S.	939.166	14.887
Gehölze	28.326	437
Terrestrische Feuchtgebiete	113.088	713
Gewässer	29.802	76
Torfabbau	17.425	66
Siedlungen	87.219	1.257
Sonstiges Land	32	0
∑	**1.822.109**	**23.755**

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 333).

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 2021 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 Subkategorien *Gehölze* und *Hecken* 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, der Kohlenstoffaustrag mit dem Bodenwasser in Form von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) sowie die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben organischer Böden jedoch ebenfalls berücksichtigt werden. Dadurch ergeben sich die in Tabelle 334 dargestellten impliziten Emissionsfaktoren (IEF) für CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen aus organischen Böden Deutschlands für das Jahr 2019.

Tabelle 334: 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 2021

Landnutzung	CO_2-onsite + DOC		CH_{4_land} + CH_{4_ditch}		N_2O-onsite	
	IEF	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	2,90	(2,34 - 3,55)	3,29	(1,04 - 6,62)	2,78	(-0,32 - 5,81)
$Acker_{annuell}$	9,63	(6,56 - 11,03)	10,30	(6,19 - 16,87)	11,04	(4,22 - 17,87)
Hopfen	9,09	(0,14 - 17,72)	12,54	(-0,2 - 26,64)	11,05	(-1,17 - 23,26)
Weinanbau	8,58	(2,98 - 13,65)	8,53	(2,46 - 15,98)	11,10	(1,83 - 20,37)
Obstanbau	9,51	(5,8 - 12,65)	10,22	(5,54 - 16,41)	11,05	(5,02 - 17,09)
Baumschulen	9,72	(6,67 - 11,46)	7,81	(4,65 - 12,51)	11,07	(8,08 - 14,05)
Weihnachtsbaumkulturen	9,64	(6,49 - 11,31)	12,46	(7,38 - 19,66)	11,03	(4,32 - 17,73)
Kurzumtriebsplantagen	9,37	(1,46 - 16,65)	9,15	(-0,2 - 20,47)	2,95	(-0,12 - 6,03)
Grasland i.e.S	7,82	(1,92 - 10,58)	34,83	(17,01 - 166,39)	4,52	(0,89 - 8,15)
Gehölze	2,89	(2,5 - 3,34)	4,20	(2,4 - 6,96)	2,76	(0,69 - 4,79)
Hecken	2,89	(2,29 - 3,58)	4,01	(1,42 - 8)	2,77	(-0,46 - 5,92)
Terrestrische Feuchtgebiete	5,23	(1,99 - 8,81)	165,78	(62,23 - 300,11)	0,69	(0,17 - 2,07)
Torfabbau	1,60	(1 - 2,21)	5,90	(2,49 - 10,78)	0,90	(0,45 - 1,35)
Siedlung	7,86	(5,22 - 11,57)	15,06	(10,05 - 15,06)	3,88	(1,58 - 6,71)

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, Hecken, 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 (2006b)), 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 (2006b)). 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.

Emissionen aus der Biomasse werden in dem Jahr ausgewiesen, in dem sie anfallen. Hierzu wird eine Methodik genutzt, 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).

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 (2006b)):

$$\Delta C_{Bio} = \sum_{i=1}^{n} \left(A_i * EF_{final} - A_i * EF_{initial} \right)$$

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 *Grünland 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 335 dargestellt, die für Grünlandkulturen i.e.S. in Tabelle 336.

Tabelle 335 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 335: 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
2021	6,58 ± 0,77	4,90 ± 0,67	1,68 ± 0,38

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 336). 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 336 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 336: 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 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 337 dargestellt.

Tabelle 337: 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 Sonstiger perennieller Ackerkulturen werden mittels Zufallsgenerator einer der 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 20

$$Emission\left[t\,CO_2\,ha^{-1}a^{-1}\right] = \left(C_{curr\,year} - C_{prev\,year}\right) * {}^{-44}/_{12}$$

$C_{curr\ year}$: 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 21

$$C_{cultspec} = C_{cultspec_abo} + C_{cultspec_bel}$$

$C_{cultspec}$: 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 22

$$C_{abo} = C_{stem,branch} * GF + C_{cut} * GF + C_{gra1_{abo}} * GF$$

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 23

$$C_{bel} = C_{roots} * GF + C_{gra1_{bel}} * GF$$

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 Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.4) [89]) 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)[90] 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 24

$$C_{croo_{stem,branch}} = -1,9798 + \frac{16,9435}{(1 + e^{-\frac{a-13,0365}{6,1938}})}$$

$C_{croo\ stem,branch}$: 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:

[89] 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

[90] $Phytomasse_{unterirdisch} = 0,489 * (Phytomasse_{oberirdisch}Gehölze)^{0,890}$ - 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 25

$$C_{croo_{abo}} = C_{croo_{stem,branch}} + C_{croo_{cut}} + C_{gra1_{abo}} * 0,75$$

$C_{croo\ stem,branch}$: 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 26

$$C_{croo_{roots}} = 0,489 * C_{croo_{abo}}^{0,89}$$

$C_{croo\ roots}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse von Obstgehölzen [t C ha^{-1}]

$C_{croo\ abo}$: Kohlenstoffvorrat der oberirdische Biomasse von Obstgehölzen [t C ha^{-1}]

Gleichung 27

$$C_{croo_{bel}} = C_{croo_{roots}} + C_{gra1_{bel}} * 0,75$$

$C_{croo\ bel}$: 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 57 dargestellt.

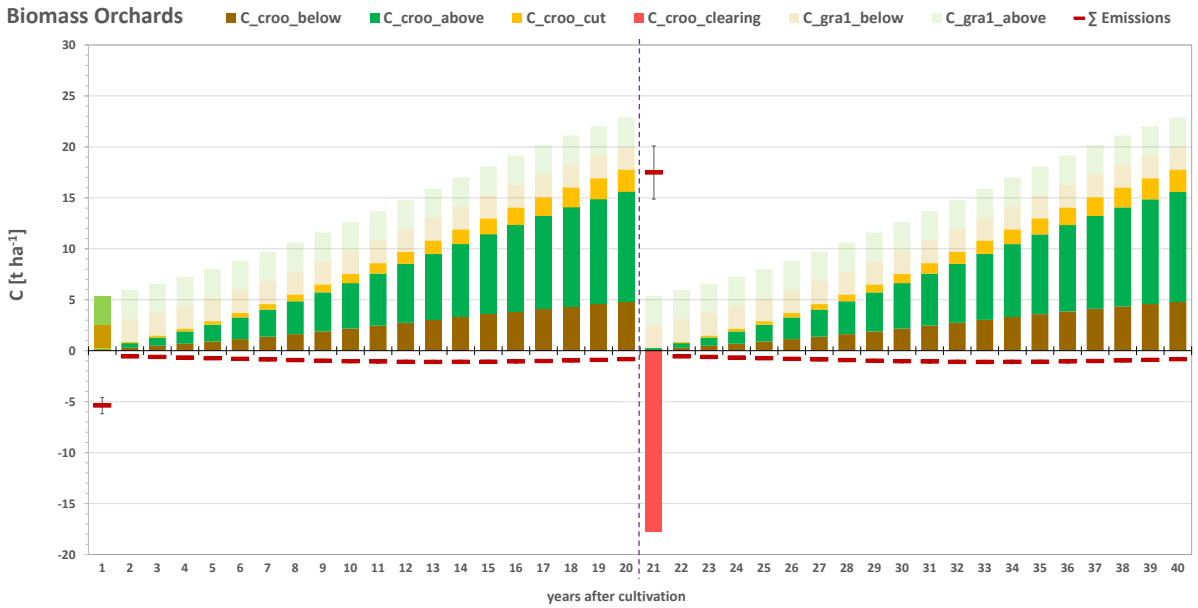


Abbildung 57: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte [t C ha^{-1}] in Kompartimenten der pflanzlichen Biomasse von Obstanbauflächen sowie die daraus resultierenden Emissionen [t C ha^{-1}] in aufeinander folgenden Umtriebszyklen (|). Transparente Balken sind nur bei Landnutzungsänderung emissionsrelevant

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 28: 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 29: 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 30: 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 31: Summe der unterirdischne Biomasse im Weinanbau in [t C ha^{-1}]

$$C_{crow_{bel}} = C_{crow_{roots}} + C_{gra1_{bel}} * 0,75$$

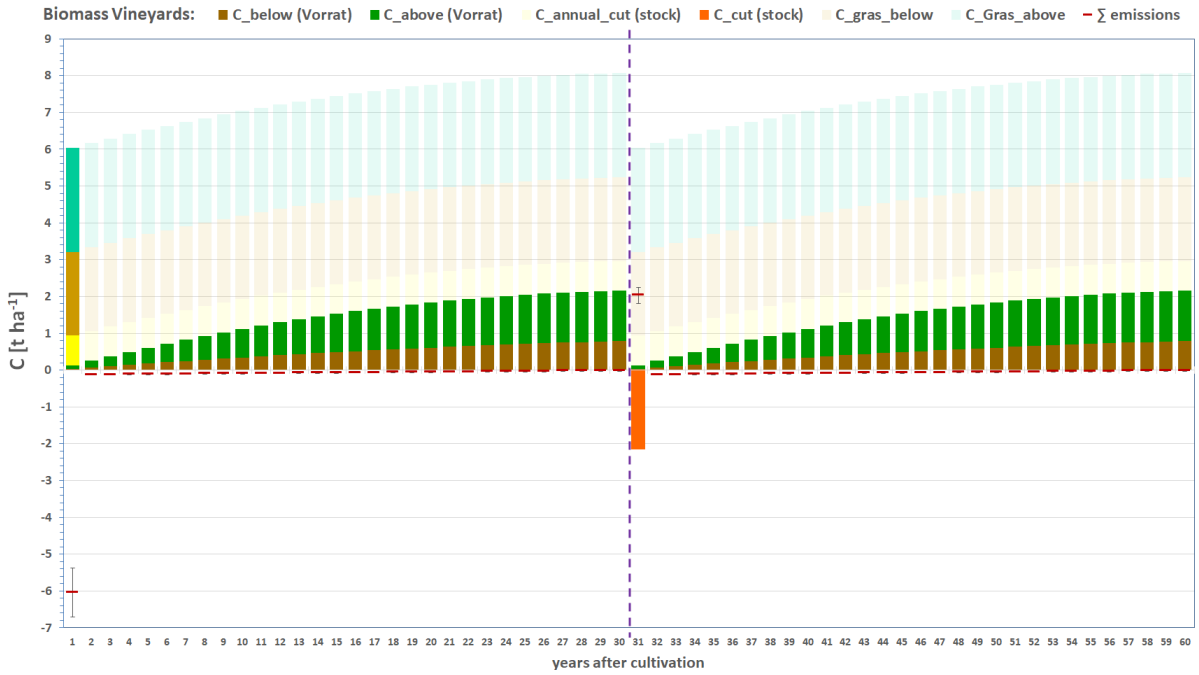
$C_{crow\ bel}$: Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse auf Weinanbauflächen [t C ha^{-1}]

$C_{crow\ roots}$: 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 58 dargestellt.

Abbildung 58: 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 (Bösch & Kändler) 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 32: 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 33: Unterirdische Biomasse für Baumschulen in [t C ha^{-1}]

$$C_{crot_{bel}} = 0,0599 * a^2 + 0,1562 * a + \frac{C_{gra1_{bel}}}{3}$$

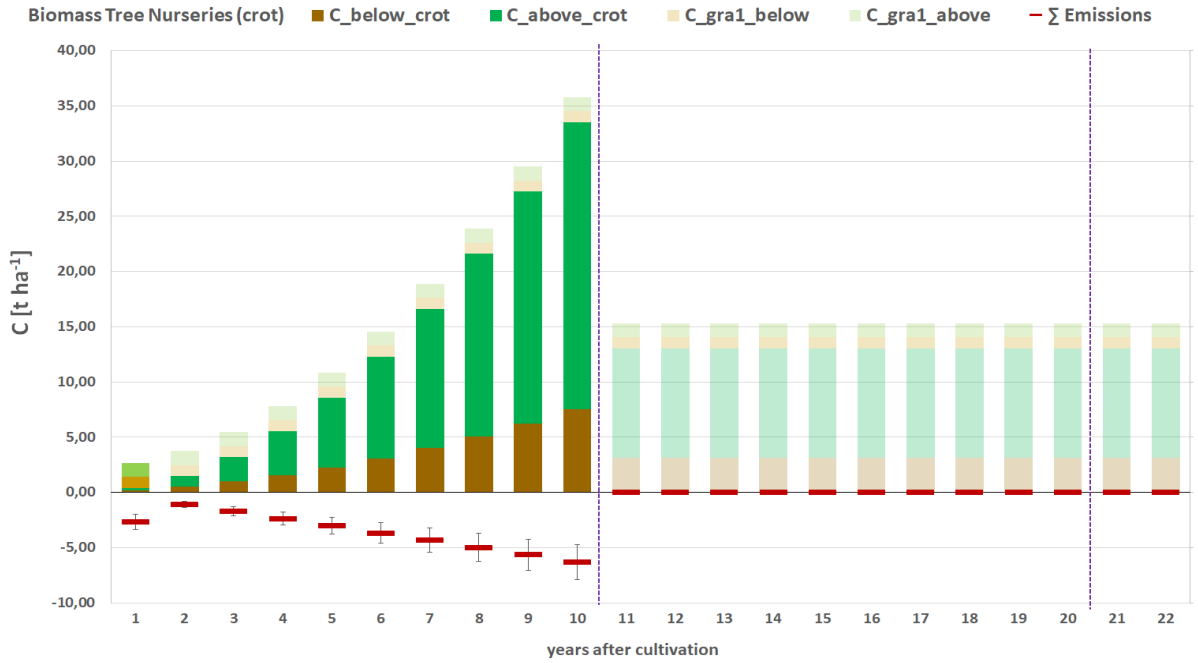
$C_{crot\ bel}$: Kohlenstoffvorrat für die oberirdische Biomasse von Baumschulen in [t C ha^{-1}]

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 59 ist die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in Baumschulen während aufeinander folgender Umtriebszyklen sowie die damit verbundenen Emissionen dargestellt.

Abbildung 59: 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 34: 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 35: Unterirdische Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen

$$C_{croz_{bel}} = 0,489 * x^{0,89} + C_{gra1_{bel}} * 0,75$$

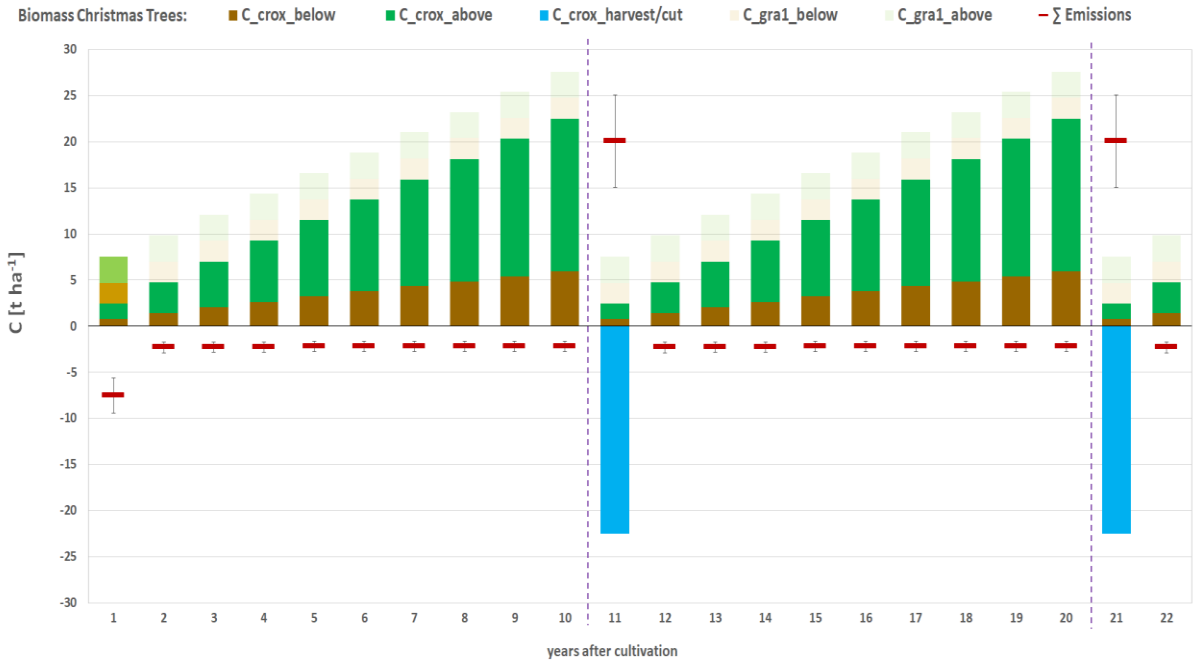
$C_{crox\ bel}$: Kohlenstoffvorrat in der unterirdischen Biomasse von Weihnachtsbaumkulturen [t C ha^{-1}]

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 60 dargestellten Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in Weihnachtsbaumkulturen während aufeinander folgender Umtriebszyklen sowie den damit verbundenen Emissionen.

Abbildung 60: 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. Die nach der Ernte anfallende Biomasse, welche ausschließlich energetisch genutzt wird, wird als Kohlenstoffänderung unter 4.B verbucht. Somit werden Doppelzählungen im Energiesektor sowie unter Holzprodukten (HWP) (s. Kapitel 6.10.1) vermieden.

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[91] 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 36: 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 37: Unterirdische Biomasse von Kurzumtriebsplantagen

$$C_{cros_{bel}} = 0,489 * x^{0,89}$$

Ccros bel: unterirdische Biomasse von Kurzumtriebsplantagen in [t ha-1]

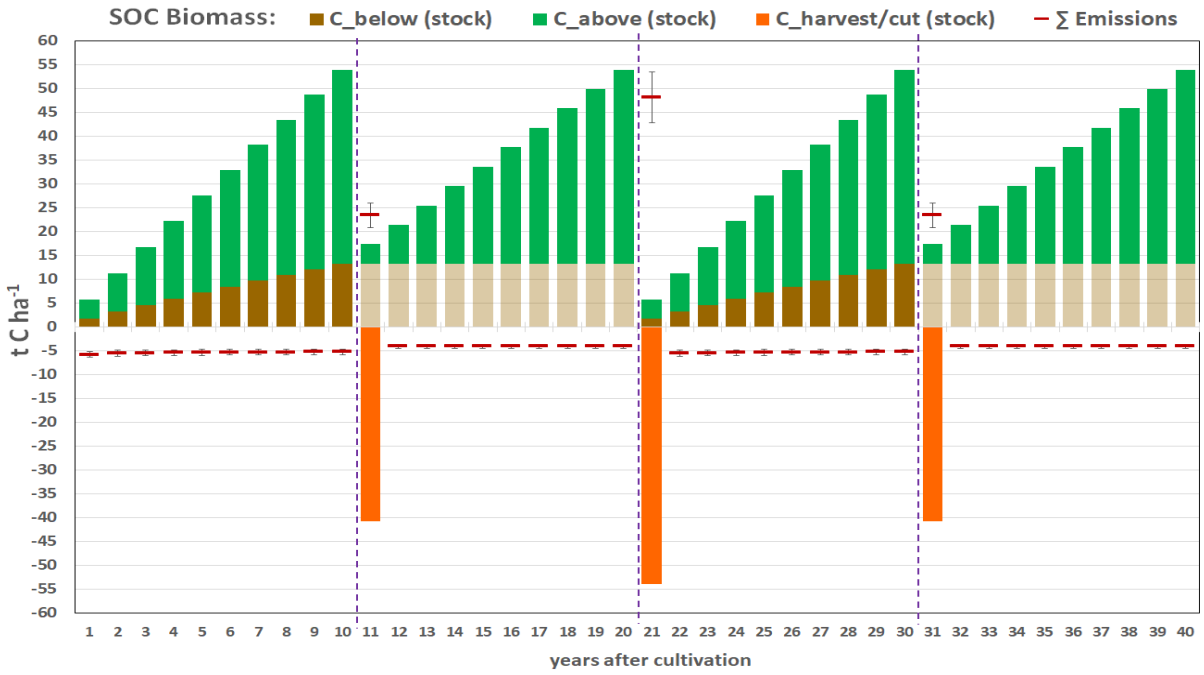
x: Kohlenstoffvorrat in der oberirdischen Biomasse Ccros abo

Zur Berechnung des gesamten Kohlenstoffvorrats in der pflanzlichen Biomasse von Kurzumtriebsplantagen, deren Verrechnung als Emissionen und deren Allokation, kommen die in Kapitel 6.1.2.3.2 und Kapitel 6.1.2.3.3 aufgeführten Methoden zur Anwendung. In Abbildung

[91] 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); 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); S. 20)

61 ist die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in Kurzumtriebsplantagen während aufeinander folgender Umtriebszyklen sowie die damit verbundenen Emissionen dargestellt.

Abbildung 61: 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 T. Graf et al. (2014); T. M. Graf (2016) und Sobotik et al. (2018) auf 50 % der oberirdischen Biomasse abgeschätzt. Für die Hopfenanbauflächen errechnen sich dann die in Tabelle 338 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 338: 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 38: 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

$$C_{gra2_{bel}} = 0,489 * {C_{gra2_{abo}}}^{0,89}$$

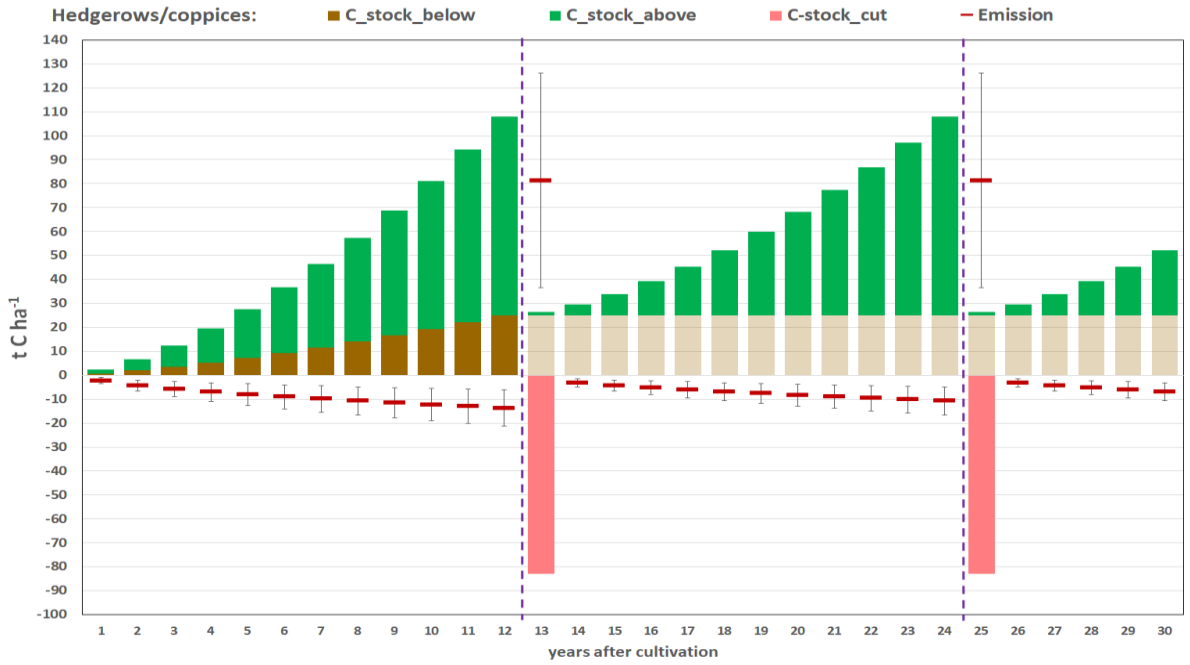
$C_{gra2\ bel}$: Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse in Hecken/ Feldgehölzen [t C ha^{-1}]

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 62 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 62: 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 39: Biomasse terrestrischer Feuchtgebiete

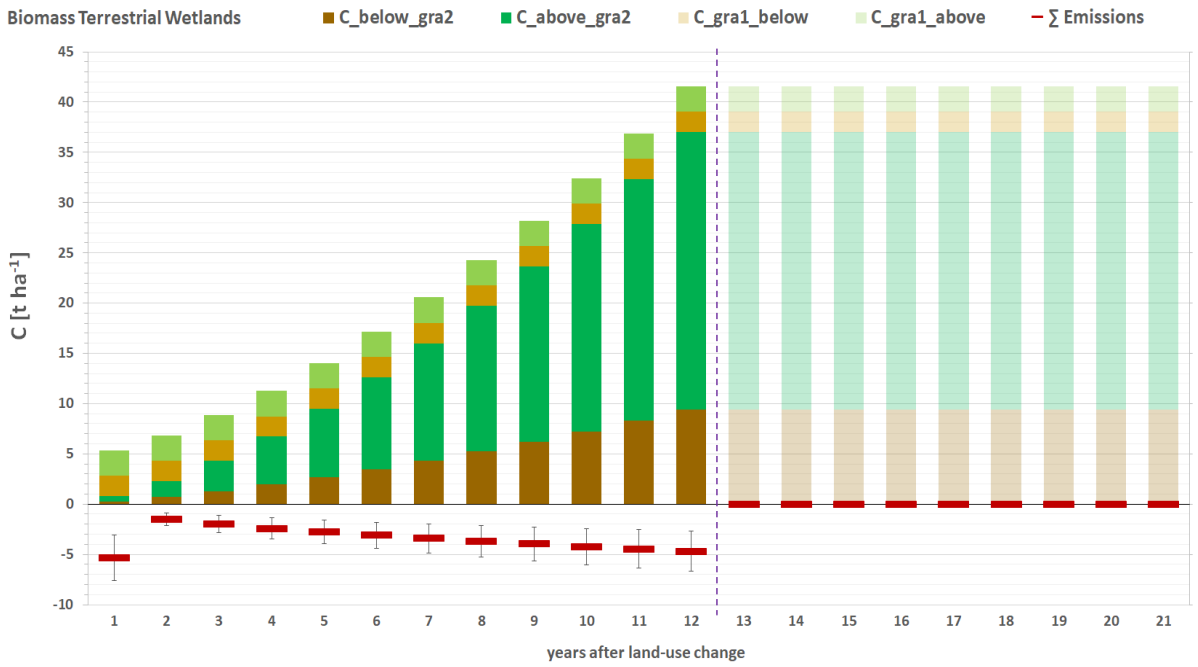
$$C_{wet1} = \frac{1}{3} C_{gra2} + \frac{2}{3} C_{gra1}$$

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 63: 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 die begrünte Fläche im deutschen Inventar im Mittel auf 50 % der Siedlungsfläche festgelegt.

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 40: Biomasse von Siedlungsflächen

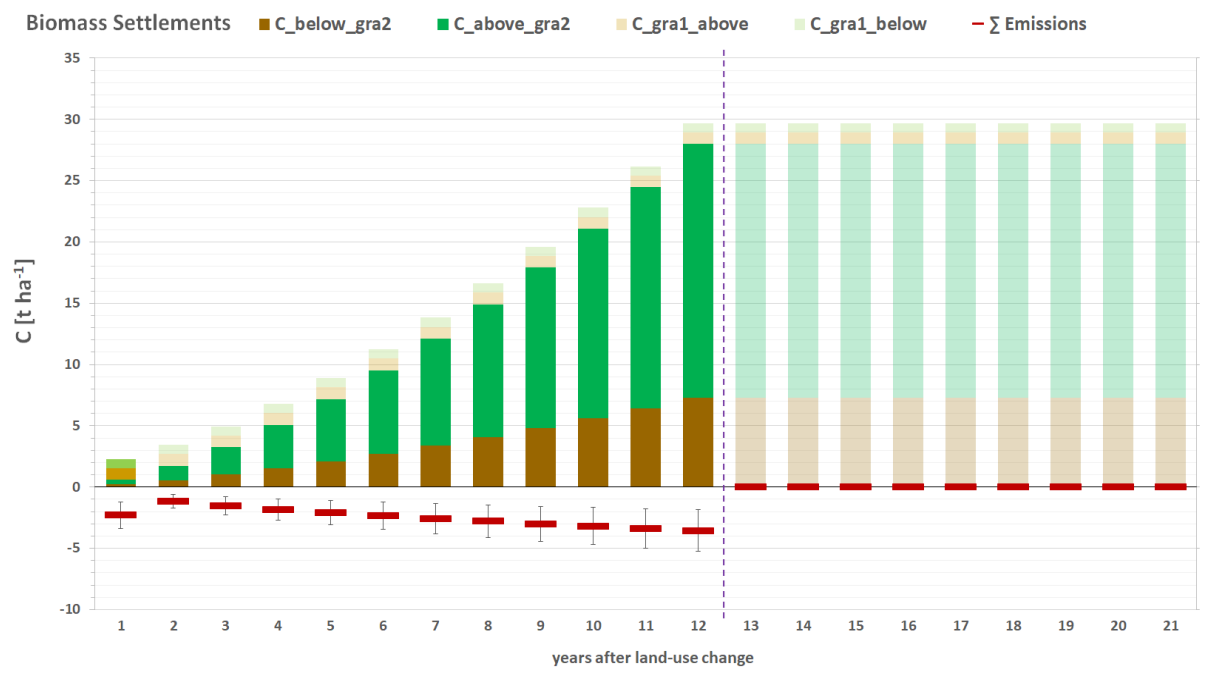
$$C_{set1} = \frac{\frac{1}{2}C_{gra2} + \frac{1}{2}C_{gra1}}{2}$$

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 64: 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, (Frank 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 355 in Kapitel 6.4.2.2.2).

Tabelle 339: 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
2021	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 fließenden und stehenden künstlichen Gewässern sowie der Entwässerung von organischen und mineralischen Böden (4(II))

Gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) und des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2019a) wird erstmalig unter *Flooded Land remaining Flooded Land* über Methanemissionen aus künstlichen stehenden und fließenden Gewässern berichtet, die Wasserstandsschwankungen unterliegen. Hierzu wurde die Landnutzungssubkategorie *Flooded Land* in folgende Kategorien weiter unterteilt:

1. *Natürliche Gewässer* (wet2): Alle fließenden und stehenden Gewässer, die nicht unter wet4 und wet5 fallen
2. *Stehende künstliche Gewässer* (wet4):
    - Stauseen, Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen
    - Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art (Ausnahme: Abwasserbehandlungsanlagen)
3. *Fließende künstliche Gewässer* (wet5): Kanäle und Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft (Ausnahme: Entwässerungsgräben auf organischen Böden), Hafenbecken an Binnengewässern

Emissionen aus der Entwässerung von Böden in Deutschland werden für organische und mit dieser Submission erstmalig auch für mineralische Böden, durch Erfassung der Emissionen aus den Entwässerungsgräben, berichtet. Emissionen infolge Wiedervernässung von organischen Böden werden nur für Methan im Falle der Überflutung ehemaliger Torfabbauflächen berücksichtigt, sonst in der CRF-Tabelle als NO (nicht vorkommend) angegeben. Die Methodik entspricht den entsprechenden Ausführungen des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2019a).

Gemäß des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2019a) kommt der Managed Land Proxy (MLP) zum Ansatz. Bei diesem wird unterstellt, dass alle Emissionen, die von bewirtschaftetem Land stammen, anthropogen verursacht sind.

Die Kohlenstoffemissionen aus der Entwässerung der 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 CO_2 IE (included elsewhere) eingetragen. Die Methanemissionen der restlichen Subkategorien werden in der CRF-Tabelle 4.(II) berichtet. 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“.

Methodik

<u>Stehende künstliche Gewässer - wet4</u>

Unter stehenden künstlichen Gewässern werden die Emissionen aus

- Stauseen, Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen
- Teichen, Speichern, künstlichen Süßwasserbecken aller Art

subsummiert. Die Berechnungen der Methanemissionen beider Subkategorien erfolgen nach der Defaultmethode des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2019a), für

Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen nach Formel 7.10 (IPCC (2019a); S. 7.12):

$$F_{CH4_tot} = F_{CH4_reservoir} + F_{CH4_downstream}$$

$$F_{CH4_reservoir} = \alpha_r * EF_{r_CH4>20a} * A_{reservoir}$$

$$F_{CH4_downstream} = \alpha_r * EF_{r_CH4>20a} * A_{reservoir} * R$$

F_{CH4_tot}: Gesamte jährliche Methanemissionen aus künstlichen Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen älter als 20 Jahre [kg CH_4 a^{-1}]
$F_{CH4_reservoir}$: Annuelle Methanemissionen von der Oberfläche künstlicher Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (älter 20 Jahre) [kg CH_4 a^{-1}]
$F_{CH4_downstream}$: Annuelle Methanemissionen künstlicher Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (älter 20 Jahre) stromabwärts des Damms [kg CH_4 a^{-1}]
α_r: Anpassungsfaktor für den Emissionsfaktor in Abhängigkeit vom trophischen Zustand von Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (dimensionslos)
$EF_{r_CH4>20a}$: Methan - Emissionsfaktor für Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen älter als 20 Jahre [kg CH_4 ha^{-1} a^{-1}]
$A_{reservoir}$: Oberfläche von Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (älter 20 a) [ha]
R: Verhältnis der Methanemissionen von Stauseen/ Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (älter 20 a) stromabwärts des Damms [kg CH_4 a^{-1}] zu Methanemissionen von deren Oberfläche [kg CH_4 a^{-1}]

Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art nach Formel 7.12 (IPCC (2019a); S. 7.17):

$$F_{CH4_ponds} = \alpha_p * EF_{p_CH4>20a} * A_{ponds}$$

F_{CH4_ponds}: Gesamte jährliche Methanflüsse von Teichen, Speichern und künstlichen Süßwasserbecken aller Art [kg CH_4 a^{-1}]
α_p: Anpassungsfaktor für den Emissionsfaktor in Abhängigkeit vom trophischen Zustand von Teichen, Speichern, künstlichen Süßwasserbecken aller Art (dimensionslos)
$EF_{p_CH4>20a}$: Methan - Emissionsfaktor für Teiche, Speicher und künstliche Süßwasserbecken älter als 20 Jahre [kg CH_4 ha^{-1} a^{-1}] A_{ponds}: Oberfläche von Teichen, Speichern und künstlichen Süßwasserbecken aller Art (älter 20 a) [ha]

Fließende, künstliche Gewässer - wet5

Unter fließenden, künstlichen Gewässern werden hauptsächlich Kanäle und Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft sowie Hafenbecken an Binnengewässern zusammengefasst. Die Berechnung der Methanemissionen für diese Subkategorie folgt der Defaultmethode des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, ebenfalls nach Formel 7.12 (IPCC (2019a); S. 7.17):

$$F_{CH4_channels} = \alpha_c * EF_{c_CH4>20a} * A_{channels}$$

$F_{CH4_channels}$: Gesamte jährliche Methanflüsse von Kanälen, Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft und Hafenbecken an Binnengewässern [kg CH_4 a^{-1}]
α_c: Anpassungsfaktor für den Emissionsfaktor in Abhängigkeit vom trophischen Zustand von Kanälen, Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft und Hafenbecken an Binnengewässern (dimensionslos)
$EF_{c_CH4>20a}$: Methan - Emissionsfaktor für Kanäle, Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft und Hafenbecken an Binnengewässern älter als 20 Jahre [kg CH_4 ha^{-1} a^{-1}]
$A_{channels}$: Oberfläche von Kanälen, Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft und Hafenbecken an Binnengewässern (älter 20 a) [ha]

Aktivitätsdaten

Grundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten für die Teilkategorien der Subkategorie *Gewässer* bilden folgende Datenquellen:

- Datensätze des Basis-Digitalen Landschaftsmodells (B-DLM) des Amtlichen Topographisch-Kartographischen InformationsSystems (ATKIS®) der Jahre 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 und 2021 (AdV 2000; 2005; 2010; 2015, 2020, 2021)
- Ein Datensatz der Bundesanstalt für Gewässerkunde mit georeferenzierten Informationen zu künstlichen stehenden Gewässern > 50 ha
- Studie zur Erfassung der Teichflächen in Bayern (Seitel & Oberle, 2022).
- Datensätze der Offizialstatistik zu Aquakulturbetrieben und deren Anlagengröße auf Ebene der Bundesländer (Statistisches Bundesamt, 2022a)

Durch Kombination statistischer Daten mit Datensätzen, die mittels Methoden der Geoinformation georeferenziert ermittelt wurden, konnten die Flächengrößen der stehenden

und fließenden künstlichen Gewässer Deutschlands, differenziert nach Typ festgestellt werden. Die Fläche der natürlichen Gewässer ergibt sich durch Abzug der so ermittelten Flächen von der Gesamtgewässerfläche Deutschlands.

Die Flächen für die Gewässerkategorien wurden im Inventar statisch gehalten, da

- die Aufnahme in das B-DLM erst in den jüngeren Jahren erfolgte und im Vergleich mit den Vorjahren zu detektierende Flächenänderungen keine echten Landnutzungsänderungen darstellen sondern kartographische Artefakte
- die Flächendaten eine Kombination aus georeferenzierten und statistischen Daten sind, die letztlich keine Georeferenz mehr aufweisen

Grundlage der Flächenfestlegung sind die Flächen der LUM 2021 (bestes B-DLM). Für Landübergänge bezüglich der Feuchtgebietskategorie gelten folgende Regeln:

- Keine Landnutzungsänderungen von und zu *Natürlichen Gewässern* und *Fließenden künstlichen Gewässern* zu anderen Landnutzungskategorien, bis eine zuverlässige, georeferenzierte AD-Grundlage verfügbar sein wird. Dies gilt im Wesentlichen auch für *Stehende künstliche Gewässer*, mit einer Ausnahme: Landnutzungsänderungen von *Torfabbau* zu *Stehenden künstlichen Gewässern* werden einseitig zugelassen
- Keine Landnutzungsänderungen von *Natürlichen Gewässern*, *Stehenden künstlichen Gewässern* und *Fließenden künstlichen Gewässern* untereinander
- *Terrestrische Feuchtgebiete* und *Torfabbau* werden wie bisher behandelt, abgesehen davon, dass Landnutzungsänderungen von und zu diesen von *Natürlichen Gewässern*, *Stehenden künstlichen Gewässern* und *Fließenden künstlichen Gewässern* ausgeschlossen werden (Ausnahme *Torfabbau* zu *Stehenden künstlichen Gewässern*)

Emissions- und Anpassungsfaktoren

Natürliche Gewässer

Gemäß 2019 Refinement (IPCC) müssen für „Natürliche Gewässer“ keine THG-Emissionen berichtet werden; folglich werden keine Emissionsfaktoren (EF) benötigt.

Stehende künstliche Gewässer - wet4

Emissionsfaktoren

Zur Berechnung der Methanemissionen aus stehenden künstlichen Gewässern Deutschlands (sowohl Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen, als auch Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art), werden als Emissionsfaktoren die Default-Werte aus dem 2019 Refinement (IPCC) übernommen. Für die kühl gemäßigten Breiten beträgt dieser für

Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (> 20 a):

$EF_{r_CH4>20a}$ = 54,0 [kg CH_4 ha^{-1} a^{-1}] (95 % - Konfidenzintervall: -10,6 % / 10,2 %) (IPCC (2019a); S. 7.15; Tabelle 7.9)

Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art:

$EF_{p_CH4>20a}$ = 183 [kg CH_4 ha_{-1} a_{-1}] (95 % - Konfidenzintervall: -35,5 % / 24,6 %) (IPCC (2019a); S. 7.18; Tabelle 7.12)

Anpassungsfaktoren

Der Anpassungsfaktor α für den trophischen Zustand der Gewässer wurde für Stauseen/Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen (α_r) und für Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art (α_p) landesspezifisch ermittelt. Grundlage hierfür war das

Forschungsprojekt „Ökologische Bewertung von künstlichen und erheblich veränderten Seen sowie Mittelgebirgsseen anhand der biologischen Komponente Phytoplankton nach den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie“ (Hoehn et al., 2009), in dessen Rahmen u.a. für 280 künstliche und 16 natürliche stehende Gewässer Deutschlands (z.B. Mittelgebirgsseen, Baggerseen, Tagebauseen, Talsperren und Sondertypen im Tiefland) u.a. die Trophieklassen ermittelt wurden. Anhand dieser wurde jeder Trophieklasse ein mittlerer Anpassungsfaktor α nach Tabelle 7.11 (S. 7.15) des 2019 Refinement (IPCC) zugeteilt. Hierfür wurden der Range der im Refinement (IPCC) für die einzelnen Trophieklassen aufgeführten Anpassungsfaktoren an die höhere Auflösung der Forschungsarbeit angepasst, indem der Range durch die Anzahl der Subkategorien geteilt und die Spannweite linear auf die Trophieklassen aufgeteilt wurde. Aus den daraus entstandenen neuen oberen und unteren Grenzen wurden dann die Mittelwerte als trophische Anpassungsfaktoren α_i den deutschen Trophieklassen zugeteilt (Tabelle 340).

Tabelle 340: Ermittlung des mittleren Trophic Adjustment Factors αi (nach 2019 IPCC Refinement) für künstliche, stehende Gewässer Deutschlands nach Trophieklassen (Hoehn et al., 2009)

LAWA 2009; Hoehn et al.		IPCC (2019 refinement)		Zuordnung trophische Anpassungsfaktoren αi			Unsicherheit (Unterstellung: Range = 95 %KI)	
Trophieklasse	**Abkürzung**	**Trophieklasse**	**α_i**	**α_i US**	**α_i _OS**	**α_i _Trophieklassen-mittel**	**[%]**	**Verteilung**
oligotroph	ol	Oligotrophic	0,7	0,7	0,7	0,7	50	normal
mesotroph 1	meso 1	Mesotrophic	0,7 - 5,3	0,7	3	1,85	62,2	normal
mesotroph 2	meso 2			3	5,3	4,15	27,7	normal
eutroph 1	eu 1	Eutrophic	5,3 - 14,5	5,3	9,9	7,6	30,3	normal
eutroph 2	eu 2			9,9	14,5	12,2	18,9	normal
polytroph 1	poly 1		14,5 - 39,4	14,5	22,8	18,65	22,3	normal
polytroph 2	poly 2			22,8	31,1	26,95	26,7	normal
hypertroph	hyper	Hypereutrophic		31,1	39,4	35,25	26,7	normal

Die so ermittelten Anpassungsfaktoren wurden über die Trophieklasse den Gewässern der deutschen Studie zugeordnet und anhand der Anzahl der unterschiedlichen Gewässertypen in den diversen Trophieklassen gewichtet (Tabelle 341).

Tabelle 341: Ermittlung mittlerer trophischer Anpassungsfaktoren anhand des Gewässerzustandes künstlicher, stehender Gewässer Deutschlands basierend auf (HOEHN et al. 2009)

Gewässertyp	oligotroph	mesotroph 1	mesotroph 2	eutroph 1	eutroph 2	polytroph 1	polytroph 2 / hypertroph	∑ Gewässer
					Anzahl			
Baggersee	11	24	21	21	11	3	2	93
Teich						1	8	9
natürlicher See	4	4	5		1		2	16
Speicher	1				1		4	6
Tagebausee	20	8	5	1				34
Talsperre	35	27	33	11	12	11	9	138
∑total	71	63	64	33	25	15	25	296
∑ohne natürliche Seen	67	59	59	33	24	15	23	280
α_i_Trophieklassenmittel	0,7	1,85	4,15	7,6	12,2	18,65	31,1	

	ol	meso 1	meso 2	eu 1	eu 2	poly 1	poly 2 / hyper	Anpassungsfaktor
			α_i Trophieklassenmittel *Anzahl					α_i_Mittel
Baggersee	7,7	44,4	87,15	159,6	134,2	55,95	62,2	5,9
Teich						18,65	248,8	29,7
natürlicher See	2,8	7,4	20,75		12,2		62,2	6,6
Speicher	0,7				12,2		124,4	22,9
Tagebausee	14	14,8	20,75	7,6				1,7
Talsperre	24,5	49,95	136,95	83,6	146,4	205,15	279,9	6,7
α_r Talsperre/Tagebau-/Baggersee	46,2	109,15	244,85	250,8	280,6	261,1	342,1	5,8
α_p_Teich/Speicher	0,7				12,2	18,65	373,2	27,0

Es zeigt sich, dass die so ermittelten trophischen Anpassungsfaktoren für Teiche und Speicher deutlich größer sind als in den anderen künstlichen Gewässern, da diese Gewässer überwiegend eutroph bis hypertroph sind. Die anderen künstlichen Gewässer weisen eine untereinander vergleichbare mittlere Trophiestufe auf. Diese ähnelt sehr derjenigen der natürlichen Seen. Ausnahme bilden lediglich die Tagebauseen, die überwiegend oligo-bis mesotroph sind (Hoehn et al., 2009)}.

Für künstliche Seen über organischen Böden bzw. einem durch organische Böden geprägten Einzugsgebiet wird eine Gleichverteilung der Seen zwischen Meso- und Eutrophie unterstellt, da diese, je nach Umland, Zufluss, Gewässerausprägung und Bewirtschaftung alle diese Trophiestufen aufweisen können (Riedmüller et al., 2013) und (Mauersberger & Kopp, 2006).

Aufgrund dieser Ergebnisse werden gewichtete, mittlere trophische Anpassungsfaktoren für

1. Teiche, Speicher und künstliche Süßwasserbecken aller Art α_p = 27,0 (Tabelle 341)
2. Stauseen / Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen
    - mineralischer Untergrund/Einzugsgebiet α_r_mineralisch = 5,8 (Tabelle 341)
    - organischer Untergrund/Einzugsgebiet α_r_organisch = 7,6

ausgewiesen.

Für den Faktor R, der das Verhältnis der Methanemissionen von Stauseen/ Wasserreservoirs (älter als 20 a) am bzw. unterhalb des Auslasses des Dammes zu Methanemissionen von deren Oberfläche beschreibt, wird ebenfalls auf den Default-Faktor des 2019 Refinement (IPCC 2019) zurückgegriffen. Der Wert für dieses Verhältnis ist dimensionslos und beträgt im Median (95%-Konfidenzintervall des Median):

R = 0,09 (-44,4 % / 144,4 %) (Tabelle 7.1; S. 7.15; IPCC 2019)

<u>Fließende, künstliche Gewässer – wet5</u>

Der Default-Wert für den Emissionsfaktor beträgt für Kanäle, Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft und Hafenbecken an Binnengewässern

$EF_{c_CH4>20a}$ = 183 kg CH_4 ha^{-1} a^{-1} (95 % - Konfidenzintervall: -35,5 % / 24,6 %) (IPCC 2019; S. 7.18; Tabelle 7.12),

der Default-Wert für den dimensionslosen Anpassungsfaktor für den Emissionsfaktor in Abhängigkeit vom trophischen Zustand der Fließgewässer

α_c = 1 (IPCC 2019; S. 7.17; Gleichung 7.12)

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 (2006b)). Die N-Vorräte für Waldböden entstammen den auf den Ergebnissen der BZE-Wald (Wellbrock et al., 2016) basierenden Bodenkarten (s. Kapitel 6.1.2.1.3, Kapitel 6.4.2.5.3 und Kapitel 6.4.2.5.4). Die Emissionsfaktoren für die restlichen Landnutzungskategorien wurden aus den regionalisierten Ergebnissen der BZE-Landwirtschaft bezüglich der C/N-Verhältnisse der Mineralböden (Jacobs et al., 2018) abgeleitet (s. Kapitel 6.1.2.1.4, Kapitel 6.1.2.1.5; Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.1.2.1.7). Die C/N-Verhältnisse für Mineralböden der Kategorie *Terrestrische Feuchtgebiete* konnten noch nicht regionalisiert werden.

Zur Ermittlung der direkten Emissionen wurden die absoluten Stickstoffvorratsunterschiede mit dem IPCC Standardwert von 0,01 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$ gemäß Gleichung 11.1 in den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006b) verrechnet. Die so ermittelten N_2O-Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(III) und die impliziten Emissionsfaktoren sind in Tabelle 342 aufgeführt. Die Unsicherheiten sind in den entsprechenden Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien (vgl. Kapitel 6.4.3, 6.5.3, 6.6.3, 6.7.3 und 6.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz) 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[92], werden gemäß IPCC Guidelines 2006 im Sektor Landwirtschaft unter 3.D.a.5 berichtet.

[92] Summe der Emissionen aus den Verbleibkategorien und der Übergangskategorien untereinander der Landnutzungskategorien *Ackerland$_{annuell}$, Hopfenanbau, Obstanbau, Weinanbau, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen* und *Kurzumtriebsplantagen*

Tabelle 342: 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 2021

Implizite Emissionsfaktoren$_{Mineralböden}$ [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] für das Jahr 2021															
Initial\Final	**Wald**	**Acker$_{annuell}$**	**Hopfen**	**Weinanbau**	**Obstanbau**	**Baumschulen**	**Weihnachst-baumkulturen**	**Kurzumtriebs-plantagen**	**Grünland i.e.S.**	**Gehölze**	**Hecken**	**Terrestr. Feuchtgebiete**	**Torf**	**Siedlungen**	**Sonstiges Land**
Wald		5,00	0	0	0	0	0	0	2,20	1,75	2,33	0,19	NO	0,57	NO
Acker$_{annuell}$	0,65		*0,05*	*0,15*	*0,03*	*0,09*	*0,07*	*0,07*	0	0	0,01	0,02	NO	0,27	NO
Hopfen	0,71	0,70		*0,85*	*0,01*	*0*	*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,69	NO
Weinanbau	0,07	0,16	0		0	*0*	*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,30	NO
Obstanbau	1,46	1,29	*0,60*	*1,37*		*0,51*	*0,56*	*0,61*	0,03	0,11	0,07	0	NO	0,33	NO
Baumschulen	0,73	0,67	0	*0, 83*	*0,00*		0	0	0	0,01	0	0	NO	0,76	NO
Weihnachtsbaum -kulturen	0,72	0,72	0	*0,80*	*0,01*	0		0	0,01	0,01	0	0	NO	0,50	NO
Kurzumtriebs-plantagen	0,00	0,58	0	0	0,01	0	0		0	0	0	0	NO	0,32	NO
Grünland i.e.S.	1,30	1,09	0,75	1,10	0,59	0,84	0,83	0,82		0	0,01	0,07	NO	0,64	NO
Gehölze	1,50	1,20	0,93	0,95	0,21	0	0,84	0,81	0		0,04	0,03	NO	1,18	NO
Hecken	1,15	1,12	0	0	0,15	1,04	0	0	0,959	0		0	NO	10,87	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	2,11	1,81	0	0,88	1,36	1,92	0	0	0,68	0,86	0		NO	1,02	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	0,75	0,49	0,32	0,33	0,03	0,15	0,09	0,09	0,02	0,05	0,08	0,02	NO		NO
Sonstiges Land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO	0,01	

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 (2006b) 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). Die N-Vorräte für Waldböden entstammen den Bodenkarten (s. Kapitel 6.1.2.1.3, Kapitel 6.4.2.5.3 und Kapitel 6.4.2.5.4) , die auf den Ergebnissen der BZE-Wald (WELLBROCK et al. 2016) basieren. Die Emissionsfaktoren für die restlichen Landnutzungskategorien wurden aus den regionalisierten Ergebnissen der BZE-Landwirtschaft bezüglich der C/N-Verhältnisse der Mineralböden (JACOBS et al. 2018) abgeleitet (s. Kapitel 6.1.2.1.4, Kapitel 6.1.2.1.5; Kapitel 6.1.2.1.6 und Kapitel 6.1.2.1.7). Die C/N-Verhältnisse für Mineralböden der Kategorie *Terrestrische Feuchtgebiete* konnten noch nicht regionalisiert werden.

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, 2006b). Die Emissionsfaktoren für die indirekten Lachgasemissionen sind für das Jahr 2019 in Tabelle 343 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[93], werden gemäß IPCC Guidelines 2006 im Sektor Landwirtschaft unter 3.D.a.5 berichtet.

Tabelle 343: 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 2021

Implizite Emissionsfaktoren$_{Mineralböden}$ [kg N_2O ha^{-1} a^{-1}] für das Jahr 2021															
Initial\Final	**Wald**	**Acker$_{annuell}$**	**Hopfen**	**Weinanbau**	**Obstanbau**	**Baumschulen**	**Weihnachst-baumkulturen**	**Kurzumtriebs-plantagen**	**Grünland i.e.S.**	**Gehölze**	**Hecken**	**Terrestr. Feuchtgebiete**	**Torf**	**Siedlungen**	**Sonstiges Land**
Wald		1,09	0	0	0	0	0	0	0,49	0,39	0,54	0,04	NO	0,13	NO
Acker$_{annuell}$	0,15		*0,01*	*0,03*	*0,01*	*0,02*	*0,02*	*0,01*	0	0	0	0,01	NO	0,06	NO
Hopfen	0,16	0,16		*0,19*	*0*	*0*	*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,16	NO
Weinanbau	0,02	0,04	*0*		*0*	*0*	*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,07	NO
Obstanbau	0,33	0,29	*0,13*	*0,31*		*0,11*	*0,13*	*0,14*	0,01	0,03	0,01	0	NO	0,07	NO
Baumschulen	0,00	0,15	*0*	*0,19*	*0*		*0*	*0*	0	0	0	0	NO	0,07	NO
Weihnachtsbaum-kulturen	0,16	0,16	*0*	*0,18*	*0*	*0*		*0*	0	0	0	0	NO	0,17	NO
Kurzumtriebs-plantagen	0,16	0,13	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*		0	0	0	0	NO	0,11	NO
Grünland i.e.S.	0,29	0,24	0,17	0,25	0,13	0,19	0,19	0, 18		0	0	0,02	NO	0,14	NO
Gehölze	0,34	0,27	0,21	0,21	0,05	0	0,19	0	0		0,01	0,01	NO	0,27	NO
Hecken	0,26	0,25	0	0	0,03	0,23	0	0	0,15	0		0	NO	2,45	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	0,47	0,41	0	0,20	0,31	0,43	0	0	0	0,19	0		NO	0,23	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	0,17	0,11	0,07	0,07	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	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

[93] Summe der Emissionen aus den Verbleibkategorien und der Übergangskategorien untereinander der Landnutzungskategorien Ackerland$_{annuell}$, Hopfenanbau, Obstanbau, Weinanbau, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

6.1.2.9 Verbrennung von Biomasse (CRF-Tabelle 4(V))

Die Verbrennung von Biomasse im Landnutzungssektor 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, Grünland, 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: 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 2021 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 asymmetrischen 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.

Die Gesamtunsicherheit des LULUCF-Teils des deutschen THG-Inventars beträgt demnach 13,6 % bezüglich des Levels der Emissionen. Den größten Beitrag zur Gesamtunsicherheit bedingen die CO_2-Emissionen (88,1 %), der Einfluss der Methan- (3,8 %) und Lachgasemissionen (8,1 %) ist gering.

Bezogen auf die Pools tragen die organischen Böden mit Abstand den größten Beitrag (94,2 %) zur Gesamtunsicherheit des LULUCF-Inventars bei, der Beitrag der Biomasse beträgt 2,4 %, der der toten organischen Substanz und der Methanemissionen aus Gewässern jeweils 1,4 %, der aller anderen Kategorien < 1 %.

Insgesamt bedingen die Landnutzungskategorien *Grünland i.e.S* (91,2 %), *Wald* (4,3 %) und $Ackerland_{annuell}$ (4,3 %) 98,8 % 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 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 und Unterschiede zu denen des Vorjahres sind erklärbar und vollständig dokumentiert.
- Unsicherheiten sind korrekt angegeben und konsistent mit denen des Vorjahres.

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.

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 Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung“ der Landnutzungskategorien.

6.1.3.4 Reviews und Reports

Aus den Reviewprozessen der letzten Jahre konnten entscheidende Empfehlungen der Gutachter umgesetzt werden. Im Folgenden werden nur die wichtigsten Verbesserungen aufgelistet:

1. Regionalisierung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte von Mineralböden (Kapitel 6.1.2.1 ff)
    - Dieser Punkt wurde vollständig umgesetzt. Dabei wurden flächendeckende hochauflösende Rasterkarten der Bodenkohlenstoffvorräte und C/N-Verhältnisse für die Mineralbodenflächen Deutschlands erstellt. Die Karten beinhalten Regionalisierungen in Abhängigkeit von pedologischen, geologischen, hydrologischen, topographischen und klimatischen Standortfaktoren
    - Für den Waldbereich wurden zur Umsetzung der Forderung ein Modellansatz mit Yasso umgesetzt (Kapitel 6.4.2.5)

2. Hinzunahme der DOM bei Waldbränden: Neben der Biomasse wurde mit der Submission auch die Verbrennung von Totholz und Streu bei Waldbränden berücksichtigt (siehe Kapitel 6.4.2.7.5)

3. Umsetzung der Berechnung der Emissionen aus Mineralböden der Verbleibkategorien von Acker- und Grünland, mittels des Tier 1 - Ansatzes der 2006 IPCC Guidelines, zum Nachweis, dass die Annahme eines Gleichgewichtes konservativ ist (Kapitel 6.5.2.3.2 und Kapitel 6.6.2.3)

6.1.4 Geplante Verbesserungsmaßnahmen

Außer den in Kapitel 6.1.2.1.9 aufgeführten mittel- bis langfristigen Maßnahmen zur Verbesserung der Berichterstattung im Bereich Mineralböden, sind kurzfristig nur kleinere Maßnahmen zur Konsilidierung des Aktivitätsdatenbestandes bezüglich der neuen Gewässerkategorien 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 (2006a): Vol. 4, Chapter 2.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 345 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 m², 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 den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006a): Vol. 4, Chapter 3.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 345 in Kapitel 6.3.2.1. Die Landnutzungskategorie Ackerland wird 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 2021 2,1 %.
- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Stratifizierung nach organischen Böden und Mineralböden, unterschieden nach Nutzung (vergl. Kapitel 6.1.2.1 und 6.1.2.2); die Bodeneigenschaften von Mineralböden unter annuellem Ackerland liegen flächendeckend in Abhängigkeit zahlreicher standortsspezifischer Parameter i einer Rasterkarte 100 x 100 m vor (vergl. Kapitel 6.1.2.1.4)
- 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 345 in Kapitel 6.3.2.1.

Grünland wird in drei Unterkategorien unterteilt, zum einen in mit Gräsern und Kräutern bewachsene Flächen (*Grünland im engeren Sinn / Grassland in a strict sense*), mit Gehölzen bestockte Flächen (*Gehölze / Woody Grassland*), die nicht der Walddefinition unterliegen und Gehölzflächen mit linearen Strukturen (*Hecken / Hedges*). 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 2021 92,9 %, der Anteil der *Gehölze* 6,8 %, der der *Hecken* 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.
- Flächenhafte Feldgehölze sowie Strauchbestände bilden die Unterkategorie *Gehölze*
- *Hecken* definiert als ein- oder mehrreihig, linear dicht beieinander stehender Sträucher (vereinzelt auch Bäume)

Übergänge zwischen den Unterkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt.

Für die Berechnung der Emissionen werden die Unterkategorien von Grünland poolspezifisch stratifiziert.

- 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 und Hecken wurde ein Modell zur Berechnung der Biomasse von 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, für Mineralböden regionalisiert in Abhängigkeit zahlreicher Kovariaten (vergl. Kapitel 6.1.2.1.5).
    - 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., Gehölze* und *Hecken* unter verbleibender Nutzung und Land, das in *Grünland i.e.S., Gehölze* und *Hecken* 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 (2006a)). 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. 2021 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. In der Unterkategorie *Gewässer* wird ebenfalls nach dem Grad der anthropogenen Beeinflussung zwischen „überflutetem Land“[94] , sowie „nicht regulierten“ und „regulierten natürlichen Gewässern“ unterschieden (nicht berichtspflichtig). Um die Emissionen aus der Subkategorie *Gewässer* gezielt erfassen zu können, wurde die Gewässerflächen erstmalig mit dieser Submission differenziert aufgenommen. So setzt sich die Subkategorie *Gewässer* nunmehr aus den Teilkategorien:

- Natürliche Gewässer,
- Stehende künstliche Gewässer,
- Fließende künstliche Gewässer

zusammen. Tabelle 344 verdeutlicht die nach diesen Vorgaben ermittelte Zuordnung der unter die Kategorie Feuchtgebiete fallenden Flächen Deutschlands, deren Definitionen sowie deren Flächen für das Jahr 2021.

Tabelle 344: Unterteilung der Landnutzungskategorie *Feuchtgebiete* in Subkategorien gemäß 2006 IPCC Guidelines und 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2019), die Teilkategorien der Subkategorie *Gewässer* sowie deren Flächen im Jahr 2021 [ha]. Ergänzend die Angaben zu Entwässerungsgräben auf organischen Böden (*kursiv*), die unter 4.A, B, C, E zu berichten sind

Feuchtgebiete			Fläche
Subkategorie	Kürzel	Flächenzusammenstellung	[ha]
Terrestrische Feuchtgebiete	wet1	Terrestrische Feuchtgebiete, die nicht unter eine der anderen Landnutzungskategorien fallen (z.B. naturnahe Moore)	133.475
Natürliche Gewässer	wet2	Fläche der fließenden und stehenden Gewässer aus dem B-DLM abzüglich der wet4-Flächen	572.083
Torfabbauflächen	wet3	Flächen auf organischen Böden zur Torfgewinnung	17.425
Künstliche stehende Gewässer	wet4	Stauseen, Wasserreservoirs, Bagger- und Tagebauseen	34.175
	wet4	Teiche, Speicher, künstliche Süßwasserbecken aller Art (Ausnahme: Abwasserbehandlungsanlagen)	31.254
Künstliche fließende Gewässer	wet5	Kanäle und Entwässerungsgräben der Wasserwirtschaft , Hafenbecken an Binnengewässern	23.571
		Entwässerungsgräben auf organischen Böden (zu berichten unter 4.A - 4.E)	*13.407*

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*; die Flächen der Subkategorien *Terrestrische Feuchtgebiete* und

[94] Wasserkörper, die durch menschliche Aktivitäten reguliert werden und starke Wasserstandsschwankungen bzw. Änderungen im Flächenbedeckungsgrad aufweisen (Staubecken usw.) (2006 IPCC Guidelines)

Torfabbauflächen werden weiterhin unterschieden nach Land unter verbleibender Nutzung und Land, das in *Terrestrische Feuchtgebiete* oder *Torfabbauflächen* umgewandelt wurde.

Die Flächendaten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.3). Umwandlungen zwischen den Subkategorien werden wie Landnutzungsänderungen aus anderen Landnutzungskategorien behandelt, nach den Vorgaben im Kapitel 6.1.2.6.

Für die Berechnung der Emissionen werden die Unterkategorien *Torfabbau*, *Terrestrische Feuchtgebiete* und *Gewässer*, poolspezifisch stratifiziert.

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.
- Methanemissionen werden für die Gewässerteilkategorien *Stehende künstliche Gewässer* und *Fließende künstliche Gewässer* in Abhängigkeit von der Art und dem Trophiezustand des Gewässers berichtet (Kapitel 6.1.2.6)

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 345 in Kapitel 6.3.2.1 dargestellt. Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Siedlung entspricht der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006a): Vol. 4, Ch. 2.2). Die gesamte Siedlungsfläche wurde in die Subkategorien *Gebäude und Freiflächen* und *Straßen* unterteilt.

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, 2021; 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, 2021; 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). Die Landnutzungsmatrix weist für das Jahr 2021 für *Straßen* (ausschließlich Straßen, nicht Verkehrswege) einen Anteil von 21 % auf. Für *Gebäude und Freiflächen* wird aufgrund der o.a. Erkenntnisse im deutschen Inventar daher folgende Landbedeckung unterstellt:

- 60 % unversiegelte Flächen (z.B. Parks, Hausgärten, Kleingartenanlagen, Rekreationsräume, Straßenbegleitgrün etc.)
- 40 % Flächen mit Bauwerken (z.B. Wohn- und Geschäftshäuser, Industriebauten, Produktionsstätten, Lagerhallen etc.)

Für die Berechnung der Emissionen wird in der Landnutzungskategorie poolspezifisch stratifiziert:

- Berechnung der Biomassevorräte: Für die Kategorie *Gebäude und Freiflächen* wurde die Biomasse aus den Werten für *Grünland i.e.S.* und *Gehölzen* bzw. *Hecken* 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) und der Vornutzung. 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 *Gebäude und Freiflächen* 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 345 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 (2006a): 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 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 eine detaillierte 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, 2020 und 2021
- Karte organischer Böden Deutschlands
- OpenStreetMap aus dem Jahr 2020 (© 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 345).

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 345).

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 345). 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 345).

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 345).

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 345: 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
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

ATKIS® Objektartenkatalog					CORINE Land Cover
Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA-Ebenen	Objektnummer Ebenen	Objekttyp	Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	Nomenklatur-Code
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	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
54001	BWS 1100		Hecke	Hecke besteht aus einer Reihe dicht beieinander stehender, meist wildwachsender Sträucher.	keine Zuordnung
61003	BEZ ART2000 Knick		Wallhecke	Wallhecken bestehen aus einen Steinwall mit einer Hecke darauf, kommt nur in Schleswig-Holstein und in Niedersachsen vor.	keine Zuordnung
IPCC-Kategorie: Feuchtgebiete					
43005		4105	Moor	Unkultivierte Fläche, deren obere Schicht aus vertorften oder zersetzten Pflanzenresten besteht	412
41005	AGT 4010	2301	Tagebau: Torfabbau		keine Zuordnung
44001		5101	natürliche Fließgewässer	Flüsse ab 12 m Breite	511
44004	FKT nicht 8300		natürliche Fließgewässer	Flüsse ab 3 m bis 12 m Breite, hergestellt aus Linienelementen	511
44003			künstliche Fließgewässer	Kanäle ab 12 m Breite	511
		5103	künstliche Fließgewässer	Gräben bis 12 m Breite, hergestellt aus Linienelementen	511
44006			natürliche, stehende Binnengewässer	Seen	512
44006	BWF 2030 und BWF 2040		künstliche Binnengewässer	Stauseen (Seen mit Staudamm oder Staumauer in max. 10 m Entfernung)	512
44005		3402	künstliche Binnengewässer	Hafenbecken	512
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

ATKIS® Objektartenkatalog					CORINE Land Cover
Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA-Ebenen	Objektnummer Ebenen	Objekttyp	Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	Nomenklatur-Code
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 dem 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 (2006a): 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 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 Erstellung der 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, 2015,2020 und 2021 eine Zuordnung zu einer Landnutzungskategorie vorgenommen werden. Die Basistabelle (siehe Tabelle 346) ist wie folgt aufgebaut (hier anhand dreier Beispielstichprobenpunkte):

Tabelle 346: Basistabelle zur Ableitung der Landnutzungen

Punkt-ID	LBM 2012	OSM	org. Boden	DLM 2000	DLM 2005	DLM 2010	DLM 2015	DLM 2020	DLM 2021	CORINE 1990	CORINE 2000	CORINE 2006	LBM 2012
1	set1	0	0	crop	crop	crop	set1	set1	set1	gra1	gra1	gra1	set1

1000	gra1	1	0	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1
2000	crop	0	0	crop	gra1	crop	crop	crop	crop	gra1	crop	crop	crop

Für die Landnutzungsklassen wurden in den Datensätzen folgende Kodierungen verwendet:

Tabelle 347: 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
gra3	Grünland	Hecken
forl	Wald	Wald
wet1	Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete
wet2	Feuchtgebiete	natürliche Gewässer
wet3	Feuchtgebiete	Torfstich
wet4	Feuchtgebiete	künstliche stehende Gewässer
wet5	Feuchtgebiete	künstliche fließende Gewässer
set1	Siedlungen	Gebäude und Freiflächen
set2	Siedlungen	Straßen
othl	Sonstiges Land	Sonstiges Land
dlm0	Keine Information[95]	

Auf diese Basistabelle wurden für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 und 2021 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 348) mit den wahrscheinlichsten Landnutzungen pro Stichprobenpunkt und Jahr (1990, 2000, 2005, 2010, 2015, 2021) und der jeweils besten Datenquelle.

Tabelle 348: Wahrscheinlichste Landnutzung (LU) und deren Datenquelle (DB)

Punkt-ID	LU 1990	LU 2000	LU 2005	LU 2010	LU 2015	LU 2020	LU 2021	DB 1990	DB 2000	DB 2005	DB 2010	DB 2015	DB 2020	DB 2021
1	crop	crop	crop	crop	sett	set1	set1	dlm(OA)	dlm	dlm	dlm	dlm	dlm	dlm
1000	set1	set1	set1	set1	set1	set1	set1	osm	osm	osm	osm	osm	osm	osm
2000	gra1	crop	gra1	crop	crop	crop	crop	clc	dlm	dlm	dlm	dlm	dlm	dlm

(Abkürzungen siehe Tabelle 347)

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

[95] Keine Landnutzungsinformation an diesem Punkt aus den Basis-DLM-Daten

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, 2021) 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 (1990-2021), 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, 2021), 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

Die bisher beschriebene Methode zur Erfassung von Landnutzungsänderungen und die daraus resultierende vollständige Landnutzungsmatrix (siehe Tabelle 349), inklusive einer 20-jährigen „Transition Time“ seit 1970 ist konform zur Berichterstattung nach der Klimarahmenkonvention und den 2006 IPCC Guidelines. Tabelle 350 zeigt beispielhaft die komplette detaillierte Landnutzungsmatrix das Jahr 2021.

Tabelle 349: 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	10.572.845	232.820	13.032.733	485.396	6.406.718	350.018	776.173	1.668	3.654.179	210.776	66.796	0
1991	10.583.473	232.905	13.037.471	484.128	6.393.404	347.375	776.166	1.682	3.657.578	210.235	65.705	0
1992	10.594.107	232.974	13.042.083	482.999	6.379.870	344.954	776.169	1.684	3.660.883	209.768	64.631	0
1993	10.604.741	233.040	13.046.482	482.083	6.365.965	342.904	776.168	1.685	3.664.166	209.323	63.565	0
1994	10.615.379	233.094	13.050.863	481.181	6.351.749	341.164	776.167	1.684	3.667.360	208.975	62.506	0
1995	10.626.018	233.135	13.055.067	480.458	6.337.388	339.574	776.161	1.687	3.670.489	208.690	61.455	0
1996	10.636.659	233.161	13.059.208	479.797	6.322.724	338.291	776.163	1.685	3.673.620	208.403	60.411	0
1997	10.647.303	233.176	13.063.201	479.284	6.307.701	337.374	776.165	1.682	3.676.646	208.211	59.379	0
1998	10.657.949	233.182	13.067.005	478.958	6.292.461	336.677	776.167	1.679	3.679.667	208.026	58.351	0
1999	10.668.593	233.182	13.070.692	478.741	6.276.924	336.287	776.167	1.676	3.682.565	207.966	57.329	0
2000	10.679.238	233.175	13.074.267	478.636	6.261.172	336.119	776.171	1.670	3.685.474	207.888	56.312	0
2001	10.683.466	230.194	12.951.541	530.695	6.166.205	454.141	774.054	6.565	3.669.526	269.397	54.338	0
2002	10.687.706	227.174	12.828.420	583.154	6.070.804	572.610	771.949	11.429	3.653.236	331.248	52.392	0
2003	10.691.956	224.135	12.704.689	636.234	5.974.576	691.904	769.865	16.261	3.636.778	393.263	50.461	0
2004	10.696.219	221.061	12.580.390	689.890	5.877.707	811.850	767.795	21.086	3.620.135	455.443	48.546	0
2005	10.700.493	217.966	12.455.612	744.036	5.780.186	932.443	765.729	25.906	3.603.230	517.877	46.644	0
2006	10.707.280	215.552	12.386.049	762.232	5.738.326	988.078	765.015	28.050	3.600.043	553.827	45.670	0
2007	10.714.082	213.064	12.316.132	780.828	5.696.143	1.044.029	764.343	30.154	3.596.628	590.002	44.717	0
2008	10.720.902	210.533	12.245.840	799.846	5.653.533	1.100.394	763.661	32.253	3.593.161	626.218	43.781	0
2009	10.727.728	207.968	12.175.363	819.090	5.610.644	1.157.026	762.971	34.354	3.589.752	662.364	42.862	0
2010	10.734.562	205.367	12.104.624	838.638	5.567.262	1.214.134	762.296	36.440	3.586.189	698.654	41.956	0
2011	10.742.689	199.806	12.001.530	900.220	5.499.202	1.278.811	761.903	37.323	3.589.996	737.169	41.473	0
2012	10.750.808	194.218	11.897.674	962.601	5.430.963	1.343.673	761.506	38.198	3.593.723	775.754	41.004	0
2013	10.758.928	188.612	11.793.333	1.025.466	5.362.238	1.409.030	761.137	39.057	3.597.234	814.535	40.552	0
2014	10.767.051	182.998	11.688.542	1.088.795	5.292.864	1.475.042	760.765	39.907	3.600.756	853.288	40.114	0
2015	10.775.166	177.383	11.583.445	1.152.433	5.223.626	1.540.920	760.386	40.767	3.604.156	892.154	39.686	0
2016	10.781.768	179.137	11.529.068	1.177.026	5.180.488	1.580.854	759.649	42.690	3.605.518	914.706	39.218	0
2017	10.788.370	180.864	11.473.979	1.202.373	5.137.053	1.621.058	758.944	44.581	3.606.768	937.357	38.775	0
2018	10.794.974	182.575	11.418.627	1.228.001	5.093.202	1.661.687	758.253	46.456	3.608.067	959.941	38.339	0
2019	10.801.580	184.272	11.362.597	1.254.314	5.049.142	1.702.531	757.558	48.339	3.609.208	982.669	37.912	0
2020	10.808.190	185.955	11.306.297	1.280.901	5.004.842	1.743.622	756.902	50.181	3.610.221	1.005.514	37.497	0
2021	10.808.790	194.381	11.281.093	1.263.877	5.026.804	1.717.458	760.962	51.021	3.668.402	979.939	37.395	0

Tabelle 350: Landnutzungsmatrix 2021. Die Diagonale zeigt die Fläche in verbleibender Nutzung, die anderen Felder die jeweiligen Landnutzungsänderungen (einschließlich 20-jähriger Übergangszeiten)

Landnutzungsmatrix 2021: Flächen [ha]																						
Initial\Final	*Wald*	*Acker$_{annuell}$*	*Hopfen*	*Wein-anbau*	*Obstanbau*	Baum-schulen	Weihnachts-baumkulturen	Kurzumtriebs-plantagen	*Grünland i.e.S.*	*Gehölze*	*Hecken*	*Terrestr. Feuchtgebiete*	*natürliche Gewässer*	*Torfabbau*	*künstliche stehende Gewässer*	*künstliche fließende Gewässer*	*Siedlungen*	*Straßen*	*Sonstiges Land*	**Σ Abnahme**	**Σ Zunahme - Σ Abnahme**
Wald	10.808.790	3	0	0	0	0	0	0	800	233	10	9.808	0	92	0	0	89.411	0	0	100.357	94.024
Acker$_{annuell}$	1.033	10.996.022	5.081	3.351	14.168	8.703	4.252	1.047	1.450.712	51.620	436	995	0	432	0	0	462.960	0	0	2.004.790	-717.044
Hopfen	95	2.974	15.041	7	118	0	0	3	244	1	0	0	0	0	0	0	105	0	0	3.547	2.211
Weinanbau	184	3.135	2	107.434	219	28	4	3	4.605	3.077	12	0	0	0	0	0	2.050	0	0	13.319	-6.894
Obstanbau	1.150	30.146	162	523	52.843	444	203	92	16.279	1.720	25	2	0	0	0	0	4.239	0	0	54.985	-33.292
Baumschulen	1.790	8.419	8	13	690	13.207	0	453	1.458	328	84	0	0	0	0	0	811	0	0	14.054	-3.523
Weihnachts-baumkulturen	1.579	3.616	7	18	1.029	0	6.772	0	1.729	419	38	9	0	36	0	0	871	0	0	9.351	4.544
Kurzumtriebs-plantagen	0	784	0	0	72	0	0	0	258	81	0	0	0	0	0	0	131	0	0	1.326	6.277
Grünland i.e.S.	50.511	1.132.396	445	1.672	4.530	907	3.552	249	4.472.282	166.558	191	22.475	0	2.025	0	0	370.972	0	0	1.756.483	36.306
Gehölze	117.984	49.344	37	625	504	0	5.796	5.731	170.475	195.578	18	6.377	0	31	0	0	45.027	0	0	401.949	-140.614
Hecken	65	459	0	0	2	1	0	0	214	51	21.437	6	0	1	0	0	57	0	0	856	-15
Terrestrische Feuchtgebiete	6.348	1.108	0	1	7	6	1	0	8.134	1.437	0	81.332	0	1.109	0	0	1.100	0	0	19.251	32.892
natürliche Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	572.083	0	0	0	0	0	0	0	0
Torfabbau	56	1.880	0	0	2	0	0	0	925	57	0	3.926	0	13.512	71	0	166	0	0	7.083	-3.170
künstliche stehende Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65.358	0	0	0	0	0	71
künstliche fließende Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.571	0	0	0	0	0
Siedlungen	10.998	52.765	16	215	352	442	87	25	130.774	33.643	27	8.545	0	187	0	0	2.688.655	0	0	238.076	741.863
Straßen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	979.747	0	0	0
Sonstiges Land	2.588	717	0	0	0	0	0	0	6.182	2.110	0	0	0	0	0	0	2.039	0	37.395	13.636	-13.636
Σ Zunahme	194.381	1.287.746	5.758	6.425	21.693	10.531	13.895	7.603	1.792.789	261.335	841	52.143	0	3.913	71	0	979.939	0	0		
Σ Landnutzungs-kategorie	11.003.171	12.283.768	20.799	113.859	74.536	23.738	20.667	7.603	6.265.071	456.913	22.278	133.475	572.083	17.425	65.429	23.571	3.668.594	979.747	37.395		
Fläche Deutschland										35.790.122											

Tabelle 351: Jährliche Flächen der Landnutzungsänderungen, die den Berechnungen für das Inventar nach Koventionsberichterstattung (20-jährige Übergangszeit) zugrunde liegen.

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Wald						
$Acker_{annuell}$ zu Wald	0	208	23	13	5	6
Hopfen zu Wald	0	0	19	0	0	0
Weinbau zu Wald	0	0	37	0	0	0
Obstbau zu Wald	0	0	230	0	0	0
Baumschulen zu Wald	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Wald	0	0	358	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Wald	0	0	316	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Wald	6.236	1.783	2.541	1.188	4.105	4.222
Gehölze zu Wald	3.022	4.726	4.563	4.327	8.494	12.175
Hecken zu Wald	0	0	0	0	0	63
Terrestrische Feuchtgebiete zu Wald	42	697	346	95	219	275
Gewässer zu Wald	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Wald	0	0	2	3	5	3
Siedlung zu Wald	2.019	859	571	443	439	309
Sonstiges Land zu Wald	360	321	109	49	98	30
… zu $Acker_{annuell}$						
Wald zu $Acker_{annuell}$	0	0	0	0	0	3
Hopfen zu $Acker_{annuell}$	0	0	89	341	221	95
Weinbau zu $Acker_{annuell}$	12	274	310	127	158	164
Obstbau zu $Acker_{annuell}$	2.693	3.158	2.307	838	1.193	1.325
Baumschulen zu $Acker_{annuell}$	0	0	0	98	77	77
Weihnachtsbaumkulturen zu $Acker_{annuell}$	0	0	428	918	543	516
Kurzumtriebsplantagen zu $Acker_{annuell}$	0	0	126	329	404	275
Grünland i.e.S. zu $Acker_{annuell}$	16.176	79.083	50.019	91.869	54.183	63.783
Gehölze zu $Acker_{annuell}$	4.296	5.035	2.410	2.261	2.966	3.497
Hecken zu $Acker_{annuell}$	0	0	0	0	0	459
Terrestrische Feuchtgebiete zu $Acker_{annuell}$	17	56	35	53	101	116
Gewässer zu $Acker_{annuell}$	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu $Acker_{annuell}$	0	0	79	157	165	4
Siedlung zu $Acker_{annuell}$	3.405	9.123	4.608	2.370	3.365	3.177
Sonstiges Land zu $Acker_{annuell}$	126	160	26	1	22	1

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Hopfen						
Wald zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Hopfen	0	0	65	347	551	395
Weinbau zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
Obstbau zu Hopfen	0	0	19	6	4	38
Baumschulen zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Hopfen	0	0	0	1	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Hopfen	0	0	0	0	1	0
Grünland i.e.S. zu Hopfen	0	0	6	38	35	87
Gehölze zu Hopfen	0	0	0	2	5	3
Hecken zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
Terrestrische Feuchtgebiete zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
Gewässer zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Hopfen	0	0	0	1	1	4
Sonstiges Land zu Hopfen	0	0	0	0	0	0
… zu Weinbau						
Wald zu Weinbau	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Weinbau	7	103	85	242	316	307
Hopfen zu Weinbau	0	0	0	0	0	7
Obstbau zu Weinbau	0	0	16	43	53	45
Baumschulen zu Weinbau	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Weinbau	0	0	3	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Weinbau	0	0	0	2	1	0
Grünland i.e.S. zu Weinbau	3	32	41	125	175	178
Gehölze zu Weinbau	1	5	9	43	72	69
Hecken zu Weinbau	0	0	0	0	0	0
Terrestrische Feuchtgebiete zu Weinbau	0	0	0	0	0	0
Gewässer zu Weinbau	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Weinbau	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Weinbau	0	4	4	20	20	24
Sonstiges Land zu Weinbau	0	0	0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Obstbau						
Wald zu Obstbau	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Obstbau	329	937	547	1.002	1.343	2.262
Hopfen zu Obstbau	0	0	2	4	19	8
Weinbau zu Obstbau	0	0	9	19	22	24
Baumschulen zu Obstbau	0	0	0	14	7	16
Weihnachtsbaumkulturen zu Obstbau	0	0	37	56	47	127
Kurzumtriebsplantagen zu Obstbau	0	0	82	67	50	117
Grünland i.e.S. zu Obstbau	144	125	77	291	505	837
Gehölze zu Obstbau	58	45	7	36	59	86
Hecken zu Obstbau	0	0	0	0	0	2
Terrestrische Feuchtgebiete zu Obstbau	0	0	0	0	1	2
Gewässer zu Obstbau	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Obstbau	0	0	0	0	0	2
Siedlung zu Obstbau	81	47	13	27	40	49
Sonstiges Land zu Obstbau	0	0	0	0	0	0
… zu Baumschulen						
Wald zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Baumschulen	0	1	0	0	1.455	1.674
Hopfen zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
Weinbau zu Baumschulen	0	0	0	0	5	3
Obstbau zu Baumschulen	0	0	0	0	48	209
zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Baumschulen	0	0	0	216	0	1
Gehölze zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
Hecken zu Baumschulen	0	0	0	0	0	1
Terrestrische Feuchtgebiete zu Baumschulen	0	0	0	0	1	0
Gewässer zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Baumschulen	0	0	0	0	81	55
Sonstiges Land zu Baumschulen	0	0	0	0	0	0
… zu Weihnachtsbaumkulturen						
Wald zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	1.151	0	0
Hopfen zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
Weinbau zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	2	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
Obstbau zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	52	0	0
Baumschulen zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	193	488	365
Gehölze zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	670	486	344
Hecken zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
Terrestrische Feuchtgebiete zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	1	0	0
Gewässer zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	27	0	0
Sonstiges Land zu Weihnachtsbaumkulturen	0	0	0	0	0	0
… zu Kurzumtriebsplantagen						
Wald zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	335	0	0	0
Hopfen zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	1	0	0	0
Weinbau zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	5	0	0	0
Obstbau zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	32	0	0	0
Baumschulen zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	180	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	79	0	0	0
Gehölze zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	51	627	415	534
Hecken zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0
Terrestrische Feuchtgebiete zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0
Gewässer zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	12	0	0	0
Sonstiges Land zu Kurzumtriebsplantagen	0	0	0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Grünland i.e.S.						
Wald zu Grünland i.e.S.	0	0	0	0	0	800
$Acker_{annuell}$ zu Grünland i.e.S.	13.459	116.901	76.657	106.594	73.094	94.216
Hopfen zu Grünland i.e.S.	0	0	9	19	29	24
Weinbau zu Grünland i.e.S.	6	331	655	196	299	352
Obstbau zu Grünland i.e.S.	719	747	661	1.637	889	687
Baumschulen zu Grünland i.e.S.	0	0	0	19	29	47
Weihnachtsbaumkulturen zu Grünland i.e.S.	0	0	46	123	155	148
Kurzumtriebsplantagen zu Grünland i.e.S.	0	0	50	131	189	120
Gehölze zu Grünland i.e.S.	3.449	16.534	7.892	7.365	11.137	18.627
Hecken zu Grünland i.e.S.	0	0	0	0	0	214
Terrestrische Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S.	20	1.017	411	244	429	383
Gewässer zu Grünland i.e.S.	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Grünland i.e.S.	0	0	43	76	132	6
Siedlung zu Grünland i.e.S.	1.970	14.531	10.568	6.616	9.790	10.642
Sonstiges Land zu Grünland i.e.S.	430	817	649	129	191	62
… zu Gehölze						
Wald zu Gehölze	0	0	0	0	0	233
$Acker_{annuell}$ zu Gehölze	595	4.736	3.684	2.923	3.260	3.382
Hopfen zu Gehölze	0	0	0	0	0	1
Weinbau zu Gehölze	0	160	329	118	175	110
Obstbau zu Gehölze	41	177	206	112	103	78
Baumschulen zu Gehölze	0	0	0	5	10	19
Weihnachtsbaumkulturen zu Gehölze	0	0	116	37	37	22
Kurzumtriebsplantagen zu Gehölze	0	0	54	27	55	30
Grünland i.e.S. zu Gehölze	663	11.423	12.111	9.674	12.167	12.743
Hecken zu Gehölze	0	0	0	0	0	51
Terrestrische Feuchtgebiete zu Gehölze	0	316	46	71	130	66
Gewässer zu Gehölze	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Gehölze	0	0	0	7	7	4
Siedlung zu Gehölze	260	3.353	2.231	1.700	2.554	2.881
Sonstiges Land zu Gehölze	47	210	74	215	93	5

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Hecken						
Wald zu Hecken	0	0	0	0	0	10
$Acker_{annuell}$ zu Hecken	0	0	0	0	0	436
Hopfen zu Hecken	0	0	0	0	0	0
Weinbau zu Hecken	0	0	3	0	0	0
Obstbau zu Hecken	0	0	5	0	0	2
Baumschulen zu Hecken	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Hecken	0	0	17	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Hecken	0	0	8	0	0	1
Grünland i.e.S. zu Hecken	0	0	0	0	0	191
Gehölze zu Hecken	2	0	0	0	0	18
Terrestrische Feuchtgebiete zu Hecken	0	0	0	0	0	0
Gewässer zu Hecken	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Hecken	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Hecken	0	0	0	0	0	27
Sonstiges Land zu Hecken	0	0	0	0	0	0
… zu terrestrische Feuchtgebiete						
Wald zu terrestrische Feuchtgebiete	9	1.269	361	134	353	810
$Acker_{annuell}$ zu terrestrische Feuchtgebiete	16	228	46	26	24	12
Hopfen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0
Weinbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0
Obstbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0
Baumschulen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	6
Grünland i.e.S. zu terrestrische Feuchtgebiete	42	1.624	953	634	1.448	3.639
Gehölze zu terrestrische Feuchtgebiete	9	452	199	164	383	1.254
Hecken zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	6
Gewässer zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	90	165	442	522
Siedlung zu terrestrische Feuchtgebiete	6	1.378	808	11	23	15
Sonstiges Land zu terrestrische Feuchtgebiete	5	1	0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Gewässer						
Wald zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
$Acker_{annuell}$ zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Hopfen zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Weinbau zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Obstbau zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Baumschulen zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Gehölze zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Hecken zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Terrestrische Feuchtgebiete zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Sonstiges Land zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
… zu Torfabbau						
Wald zu Torfabbau	0	0	1	7	6	29
$Acker_{annuell}$ zu Torfabbau	0	0	10	47	47	4
Hopfen zu Torfabbau	0	0	0	0	0	0
Weinbau zu Torfabbau	0	0	0	0	0	0
Obstbau zu Torfabbau	0	0	0	0	0	0
Baumschulen zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Weihnachtsbaumkulturen zu Gewässer	0	0	0	0	0	0
Kurzumtriebsplantagen zu Gewässer	0	0	0	1	6	0
Grünland i.e.S. zu Torfabbau	0	0	22	185	215	35
Gehölze zu Torfabbau	3	0	3	1	2	2
Hecken zu Torfabbau	0	0	0	0	0	1
Terrestrische Feuchtgebiete zu Torfabbau	0	0	3	75	122	237
Gewässer zu Torfabbau	0	0	0	0	0	0
Siedlung zu Torfabbau	0	2	1	7	31	1
Sonstiges Land zu Torfabbau	0	0	0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	**1990-2000**	**2001-2005**	**2006-2010**	**2011-2015**	**2016-2020**	**2021**
… zu Siedlung						
Wald zu Siedlung	997	6.116	4.458	3.452	4.688	6.172
$Acker_{annuell}$ zu Siedlung	5.745	40.277	24.721	28.065	14.155	15.889
Hopfen zu Siedlung	0	0	3	14	6	7
Weinbau zu Siedlung	4	161	134	87	77	74
Obstbau zu Siedlung	246	437	309	150	117	126
Baumschulen zu Siedlung	0	0	0	18	13	4
Weihnachtsbaumkulturen zu Siedlung	0	0	23	73	64	66
Kurzumtriebsplantagen zu Siedlung	0	0	24	68	84	42
Grünland i.e.S. zu Siedlung	3.113	25.484	19.947	18.891	17.993	22.560
Gehölze zu Siedlung	388	1.835	1.842	2.607	2.837	4.736
Hecken zu Siedlung	0	0	0	0	0	57
Terrestrische Feuchtgebiete zu Siedlung	10	110	19	24	135	45
Gewässer zu Siedlung	0	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Siedlung	0	0	2	5	28	8
Sonstiges Land zu Siedlung	77	425	79	60	34	4

6.3.6 Verifizierung

Die Landnutzungskategorien wurden für das Inventar so gewählt, dass sie den Definitionen von UNFCCC 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-LW und B-DLM ergeben sich nur durch die Erhebungsmethodik; während bei der BZE-LW 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-LW, 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 352). Bezüglich des geringen Unterschieds in der Gesamtflächenrepräsentanz von BZE-LW und B-DLM sei darauf hingewiesen, dass in gröberen statistischen Erhebungssystemen kleine Flächen oft überschätzt werden (vergl. Jacobs et al. (2018)).

Tabelle 352: Prozentuale Verteilung der Flächen landwirtschaftlicher Landnutzung nach Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW), Basis-Digitalem Landschaftsmodell des ATKIS® (B-DLM) und der Agrarstrukturerhebung (ASE). Referenz ist die Gesamtfläche der BZE-LW.

	BZE-LW	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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**4 A, Forest Land**		**CO_2**	**-18.696,5**	**-1,5 %**	**-41.870,9**	**-5,5 %**	**124,0 %**
-/-	4 A, Forest Land		CH_4	34,4	0,0 %	26,6	0,0 %	-22,5 %
-/-/2	**4 A, Forest Land**		**N_2O**	**461,8**	**0,0 %**	**435,5**	**0,1 %**	**-5,7 %**

* 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, GWP nach IPCC AR5

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO_2	Tier 2/Tier 3	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, sowie für N_2O nach der Methode-2-Analyse.

Die Kategorie „Wald“ wird in den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006a) 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 2021 -41.409 kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5. In der Tabelle 353 sind die Emissionen für den Wald unterteilt nach Pools und Treibhausgasen sowie ihrer Unsicherheiten zusammengestellt.

Tabelle 353: Emissionen im Waldbereich für das Jahr 2021

Quellgruppe	Gas	Emission	2,5 % Perzentil	97,5 % Perzentil	2,5 % Perzentil	97,5 % Perzentil
			[kt CO2-Eq.]		%	
Wald$_{total}$ [96]		-41.408.8	-37.964,2	-44.764,3	8,20	8,24
Mineralböden	CO_2 [97]	-13,812.1	-12.366,4	-15.257,9	10,47	10,47
	$N_2O_{indirekt}$ [98]	20.9	-10,8	83,9	151,65	302,08
	N_2O_{direkt} [99]	92.7	-20,2	299,1	121,81	222,55
Organische Böden	CO_2 [100]	2,955.6	2.387,3	3.618,5	19,23	22,43
	CH_4 [101]	25.6	8,1	51,6	68,34	101,11
	N_2O [102]	321.4	-37,0	672,3	111,52	109,20
Biomasse	CO_2 [103]	-27,414.9	-24.982,0	-29.848,6	8,87	8,88
Streu	CO_2 [104]	163.0	107,5	218,6	34,07	34,07
Totholz	CO_2 [105]	-3,762.5	13.868,8	-21.393,9	468,60	468,60
Waldbrände	CO_2 [106]	IE	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [107]	1.0	0,2	1,8	82,26	82,26
	N_2O [108]	0.5	0,2	0,8	57,21	57,21

Ausschlaggebend für die Einbindungen in der Waldkategorie (2021) sind die Pools Biomasse (63,93 %), mineralische Böden (27,29 %) und Totholz (8,77 %). Quellen entstehen durch Streu,

[96] Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.A, 4.(II).A, 4.(III).A, 4.(IV).2, 4.(V).A
[97] CRF-Tabelle 4.A
[98] 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
[99] CRF-Tabelle 4.(III).A
[100] CRF-Tabelle 4.A
[101] CRF-Tabelle 4.(II).A
[102] CRF-Tabelle 4.(II).A
[103] CRF-Tabelle 4.A
[104] CRF-Tabelle 4.A
[105] CRF-Tabelle 4.A
[106] CRF-Tabelle 4.(V).A
[107] CRF-Tabelle 4.(V).A
[108] CRF-Tabelle 4.(V).A

Drainage, Mineralisierung und Waldbrände. Die Quellen tragen mit 7,62 % nur einen sehr geringen Anteil zur Treibhausgasbilanz im Wald bei.

Abbildung 65: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2021 nach Unterkategorien

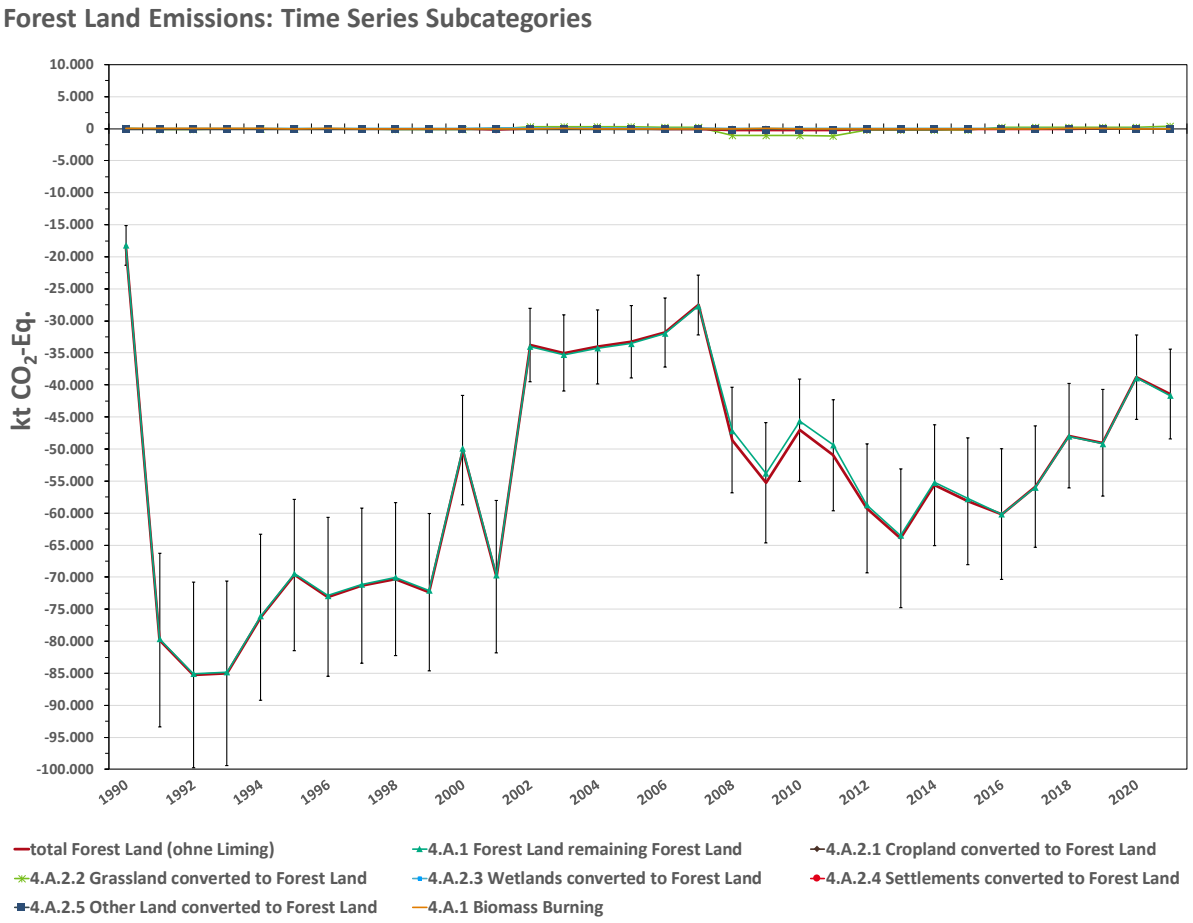
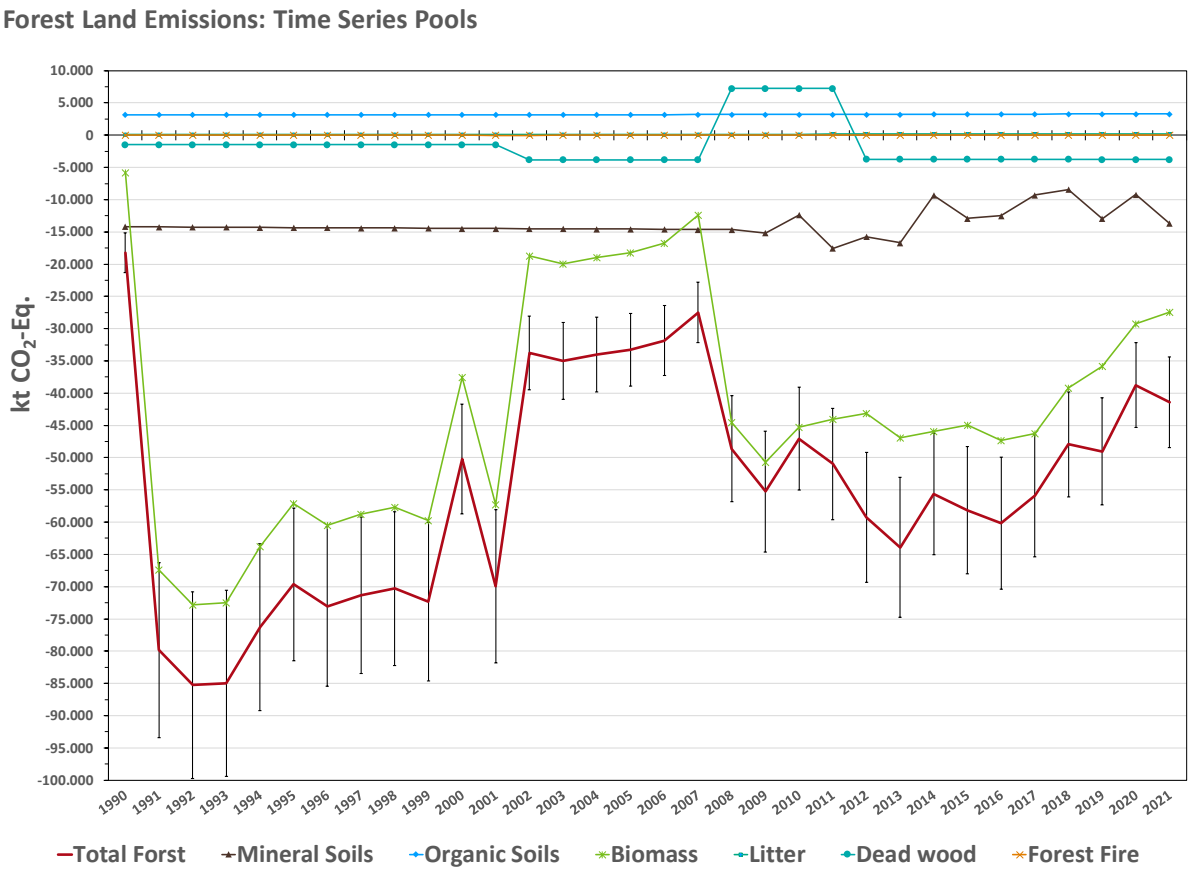


Abbildung 66: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2021 nach Pools



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-Wald)
- Bodenzustandserhebung im Wald II (BZE II-Wald)
- 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[109]. 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 (BMELV, 2005; Polley, 2001). 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; F 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 mit Wachstumsmodellen fortgeschrieben sowie nach Vollzugs- und Änderungsmeldungen der Forstbetriebe aktualisiert (BMELF, 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-Wald)

Zur Bestimmung der Kohlenstoffemissionen aus Waldböden wurde das Bodenkohlenstoffmodel YASSO verwendet. Yasso berechnet die Menge des organischen Kohlenstoffs im Boden, die Änderungen der Menge und die heterotrophe Bodenatmung (siehe auch Kapitel 6.4.2.5). Als Eingangsdaten konnten Daten aus den bodenkundlichen Inventuren BZE I-Wald und BZE II-Wald genutzt werden. Die BZE I-Wald wurde von 1987 bis 1992 und die BZE II-Wald 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-Wald (Wolff & Riek, 1997) und BZE II-Wald (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-Wald

[109] weitere Informationen: http://www.bundeswaldinventur.de

1800 und bei der BZE II-Wald 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-Wald gekommen.

Für die BZE I-Wald 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-Wald wurden von den Bundesländern ca. 2000 Punkte an eine gemeinsame Bundesdatenbank übermittelt. Von den 2000 Stichprobenpunkten, die aus der BZE II-Wald zur Verfügung stehen, gibt es für ca. 1.800 Rasterpunkten Kohlenstoffvorräte[110].

Aktuell wird die BZE III-Wald durchgeführt. Nach Veröffentlichung der Ergebnisse werden diese als Eingangsdaten in die Modellierung mit YASSO einfließen und die Modellergebnisse verbessern.

6.4.2.2 Biomasse (CRF -Table 4.A)

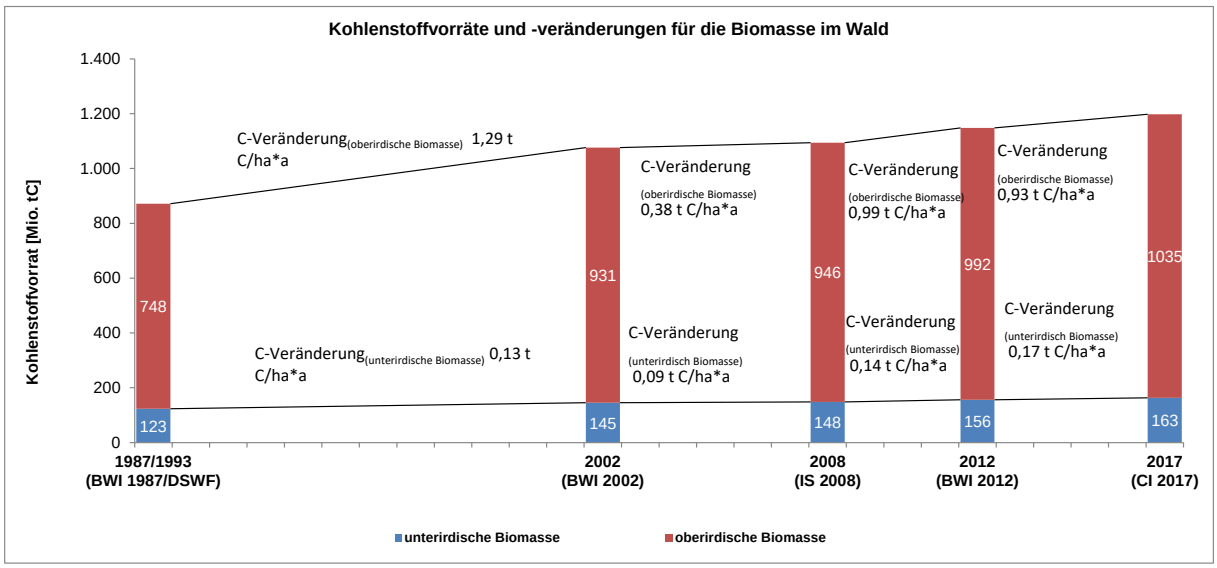
6.4.2.2.1 Verbleibende Waldfläche

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 Steffi Röhling et al. (2016).

In Abbildung 67 sind die Kohlenstoffvorräte und –veränderungen für die Inventurzeitpunkte und –perioden angegeben. Auch diese Zahlen verdeutlichen die Zunahme des Kohlenstoffvorrates in 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.

[110] siehe: https://www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/waldmonitoring/bodenzustandserhebung/

Abbildung 67: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Phytomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012 und 2017



In Abbildung 68 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 354 zu finden sind.

Abbildung 68: Holzeinschlag in Deutschland

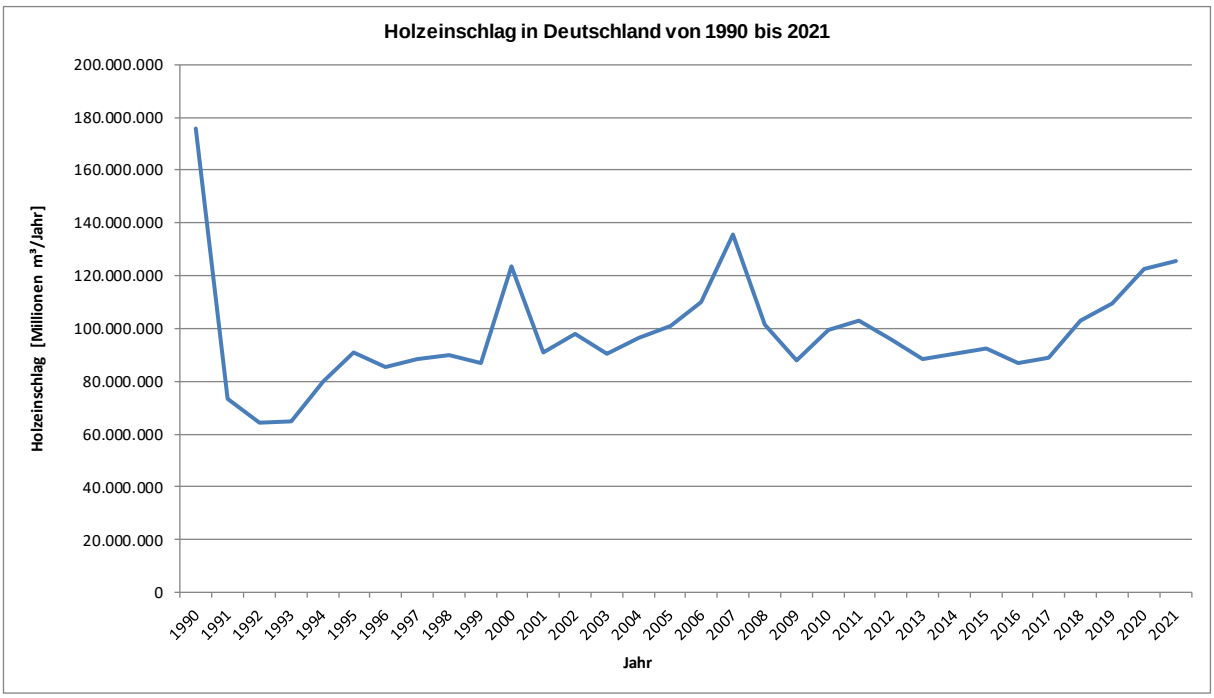


Tabelle 354: Emissionsfaktoren der verbleibenden Waldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse

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
2021	0,60	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 355 sind die EF für die jährliche Zunahme der ober- und unterirdischen Biomasse auf Aufforstungsflächen ohne die Vornutzung zusammengefasst.

Tabelle 355: EF für die Neuwaldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse

Periode	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2021
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 Bösch and Kändler (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 (2006a)) der Biomasse-Zunahme-Abnahme-Methode (Gain-Loss Method, IPCC (2006a)) vorgezogen werden konnte.

6.4.2.2.4 Konvertierung in oberirdische Einzelbaumbiomasse

Die rund 1600 Bäume der Studie von Bösch and Kändler (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 41:

$$Y_{BIOM_0} = b_0 e^{b_1 \frac{BHD}{BHD+k_1}} e^{b_2 \frac{D03}{D03+k_2}} H^{b_3}$$

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 356: 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[111]

Bäume > 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD

Gleichung 42:

$$Y_{BIOM_0} = b_0 + \left(\frac{b_s - b_0}{d_s^2} + b_3(BHD - d_s)\right) BHD^2$$

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 357: 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 43:

$$Y_{BIOM_0} = b_0 \, H_1^b$$

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 358: 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.

[111] 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 359: 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 360: 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 44.

Gleichung 44:

$$Y_{BIOM_u} = b_0\, BHD^{(b_1)}$$

Y_{BIOM_u} = unterirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum

$b_{0,1}$ = Koeffizienten der unterirdischen Biomassefunktion.

BHD = Brusthöhendurchmesser in cm

Tabelle 361: 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[112]	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)[113]	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 69), 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.

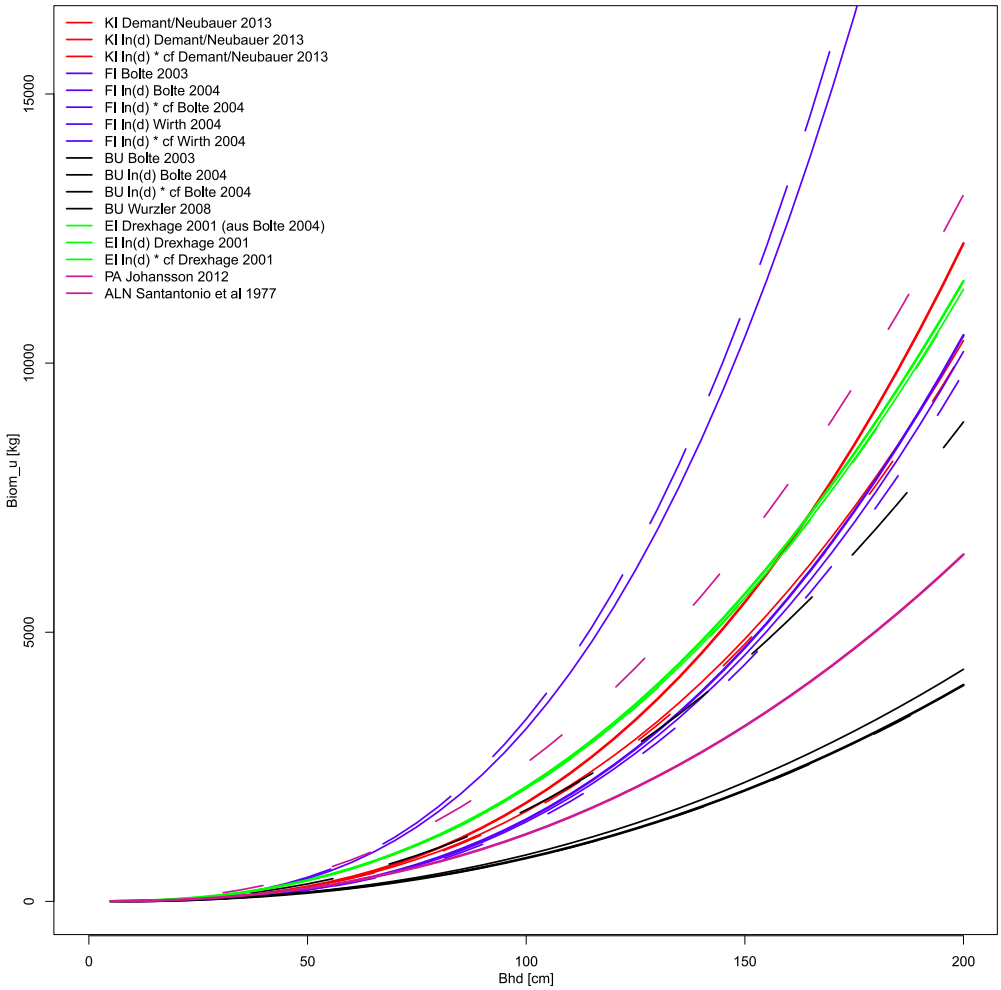
Neben der Thünen-Institut-eigenen Kiefernfunktion (Neubauer & Demant, 2016) ist auch die Funktion von Drexhage and Colin (2001) in Bolte et al. (2003) für Eiche in Europa einzigartig. Die gewählten Funktionen für Buche und Fichte decken einen wesentlich breiteren Bereich in der BHD-Verteilung ab, vor 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 69).

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 69) 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.

[112] Für diese Funktion ist keine Angabe des RMSE% verfügbar, deshalb wurde der IPCC-Default von 50% eingesetzt.
[113] Der mittlere RMSE% beider Funktionen (Wurzelstumpfmasse + Wurzelmasse) beträgt 24,2%.

Abbildung 69: 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 45:

$$Y_{lc} = \frac{\sum_{m=1}^{M} I_{l,c,m} Y_{l,c,m}}{M_{l,c}}$$

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 46:

$$\hat{\bar{Y}}_l = \frac{\sum_{c_l=1}^{C_l} M_{l,c} Y_{lc}}{\sum_{c_l=1}^{C_l} M_l}$$

$\hat{\bar{Y}}$= 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 47:

$$\hat{\bar{Y}}_{st} = \sum_{l=1}^{L} \hat{\bar{Y}}_l \frac{\lambda(U_{l)}}{\lambda(U)}$$

$\hat{\bar{Y}}_{st}$= Gesamtschätzer

l = Stratum
U = Fläche
λ= Schätzgröße

Das Total einer Zustandsschätzung ergibt sich durch Multiplikation des Gesamtschätzers mit der Gesamtfläche *λ(U)*.

Gleichung 48:

$$\hat{Y}_{st} = \hat{\bar{Y}}_{st}\lambda(U)$$

$\hat{Y}_{st}$= Total Zustandsschätzung

st = Zustand
U = Fläche
λ = Schätzgröße

Der (wald-) flächenbezogene Mittelwert ist definiert als Quotienten- oder Ratioschätzer aus:

Gleichung 49:

$$\hat{R}_{st} = \frac{\hat{Y}_{st}}{\lambda(U_{Wald})}$$

$\hat{R}_{st}$ = 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 50:

$$\hat{G}_l = \hat{Y}_l^{(t_2)} - \hat{Y}_l^{(t_1)}$$

$\hat{G}_l$= 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 50. Die Schätzung des Veränderungstotals berechnet sich nach Gleichung 51. Die Veränderung des flächenbezogenen Mittelwertes ergibt sich aus:

Gleichung 51:

$$\hat{G}_{R_{st}} = \hat{R}_{st}^{(t_2)} - \hat{R}_{st}^{(t_1)}$$

$\hat{G}_{R_{st}}$= 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 (Steffi 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 52:

$$EF_{LFM} = EF * (1 + F_1)$$

EF_{LFM} = Jährlicher mit dem Holzeinschlag korrigierter Emissionsfaktor (tC/ha*a)
EF = Durchnittlicher Emissionsfaktor der Inventurperiode (tC/ha*a)
F_1 = Korrekturfaktor

Gleichung 53:

$$F_1 = \frac{(L_{fp} - L_{fa})}{L_{fp}}$$

F_1 = Korrekturfaktor
L_{fa} = jährlicher Holzeinschlag (m³)
L_{fp} = periodischer Holzeinschlag (m³)

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 (2006a)).

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Totholz wurden die Daten der BWI 2002 (BMELV, 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 362.

Tabelle 362: 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 54 (Equ. 2.19, IPCC (2006a)) berechnet. Die EF für das Totholz auf verbleibenden Waldflächen sind in Tabelle 363 zusammengefasst.

Gleichung 54:

$$\Delta C_{FF_{DW}} = \frac{A * \left(B_{t_2} - B_{t_1}\right)}{T} CF$$

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 363: Totholzemissionsfaktoren für verbleibende Waldflächen

Periode	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2021
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, 2006a) berechnet. Sie ist identisch mit der Gleichung für die Veränderung der Totholzvorräte für verbleibenden Wald (siehe Gleichung 54). 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 364 zusammengefasst.

Tabelle 364: Totholzemissionsfaktoren für Neuwaldflächen

Periode	1990-2007	2008-2011	2012-2021
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-Wald und BZE II-Wald, siehe Kapitel 6.4.2.1.2, und Grüneberg et al. (2014)). Im Zeitraum von 1990 (BZE I-Wald) bis 2006 (BZE II-Wald) 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-Wald) vorbereitet und ab 2022 die Feldaufnahmen durchgeführt. Mit den Ergebnissen der BZE III-Wald 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 (2006a)). 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-Wald und BZE II-Wald verwendet. Danach betragen die mittleren Kohlenstoffvorräte in der Streu für das Stichjahr 1990 der BZE I-Wald 19,0 t C ha^{-1} und für das Stichjahr 2006 der BZE II-Wald 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 365). Die methodische Beschreibung für die Herleitung der Kohlenstoffvorräte in der Streu findet sich im Kapitel 6.4.2.4.

Tabelle 365: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für Streu der Landnutzungskategorien zu Neuwald

Jahr	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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	0,4663

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.) 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 Nationaler Inventarbericht 2022 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, 2006a). 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 N. 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 366). 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 und Kohlenstoffsequestrierung in selbiger bei Aufforstungen (siehe Kapitel 6.4.2.4.2).

Tabelle 366: 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-Wald) bis 2006 (BZE II-Wald)

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-Wald / BZE II-Wald und der durchschnittlichen Differenz jährlich abnehmende Faktoren für die Streuakkumulation berechnet (siehe Kapitel 6.4.2.4.2, Tabelle 365).

Für die Entwaldung wurden die Zustandsdaten der BZE I-Wald und die Zustandsdaten der BZE II-Wald verwendet. Danach beträgt der mittlere Kohlenstoffvorrat in der Streu zum Zeitpunkt 1990 (BZE I-Wald) 19,05 t ha^{-1} und zum Zeitpunkt 2006 (BZE II-Wald) 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.

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 der Überlappungsmethode (overlap method) und verwendet einen Tier 2- und Tier 3-Ansatz der (2006 IPCC Guidelines - Equ. 2.25, IPCC (2006a)).

Die Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen in den mineralischen Böden basieren für den Zeitraum 1990 bis 2008 auf der "stock-difference-methode" und für den Zeitraum ab 2008 auf Ergebnisse des Modells Yasso15. Mit Einführung der neuen Methode erfolgte auch eine Regionalisierung der Böden (siehe auch Kapitel 6.1.2.1.3). Die dazu notwendigen Daten basieren auf den bundesweiten Bodenzustandserhebungen imWald (BZE I-Wald und BZE II-Wald, siehe Kapitel 6.4.2.1.2 und Grüneberg et al. (2014)). Das methodische Vorgehen wird ausführlich in den folgenden Kapiteln 6.4.2.5.3 und 6.4.2.5.4 beschrieben.

Aktuell wird die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III-Wald) durchgeführt. Mit den Ergebnissen der BZE III-Wald erfolgt eine Verbesserung der verwendeten Methode.

6.4.2.5.2 Neuwaldflächen

Für die Neuwaldflächen wird die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die mineralischen Böden wie bei den verbleibenden Waldflächen mit einer Kombination (overlap method) aus einem Tier 2- und Tier 3-Ansatz durchgeführt (Equ. 2.25, IPCC (2006a)).

Für Neuwaldflächen wurden die Kohlenstoffänderungen in den mineralischen Böden entsprechend Kapitel 6.1.2.1 berechnet.

6.4.2.5.3 Grundlagen und Methoden für die Berechnung der Änderungsraten der organischen Bodenkohlenstoffvorräte

Grundlage der Berechnungen zu den jährlichen Veränderungsraten der organischen Bodenkohlenstoffvorräte sind Daten der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (siehe Kapitel 6.4.2.1.2 und Grüneberg et al. (2014)). Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE Wald) erfasst auf einem landesweit repräsentativen und systematischen Stichprobennetz von 8x8 km die gesamte Waldfläche Deutschlands. Die erste Erhebung (BZE I-Wald) fand in den Jahren 1987 bis 1993 an 1.936 Stichprobenpunkten statt. Eine zweite Inventur (BZE II-Wald) erfolgte zwischen 2006 und 2008 zum Teil an den gleichen Stichprobenpunkten und zum Teil andernorts.

Die Beprobung des Mineralbodens, in der für den nationalen Inventurbericht relevanten Tiefe, erfolgte an den meisten BZE Punkten bis in 30 cm Tiefe 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 st (N. 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.

Mit dem Bodenkohlenstoffmodell Yasso15 (Järvenpää et al. 2018, Tuomi et al. 2009) erfolgte in Monatsschritten eine Modellierung für alle BZE Punkte separat ab der BZE I-Messung bis 2050. Falls keine Daten aus der BZE I-Wald vorlagen, fand die Modellierung ab dem Zeitraum der BZE II-Wald statt. Die Modellergebnisse zeigen die Änderungen der organischen Kohlenstoffvorräte bis in eine Mineralbodentiefe von 30 cm. Die bei der Modellierung benötigten Klimadaten (mittlere Monatswerte der Lufttemperatur und monatliche Niederschlagswerte) wurden aus den aktuellen in 1 km^2 Auflösung vorliegenden Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) berechnet und mittels räumlicher Interpolation zwischen den jeweils nächsten vier Datenpunkten um einen BZE-Punkt angepasst. Dabei gingen die räumlichen Abstände und das Quadrat des geodätischen Höhenunterschieds umgekehrt proportional als Gewichtungsfaktoren ein. Für die Modellierung in die Zukunft dienten zufällig gezogene Klimadaten aus dem Zeitraum 2010 bis 2020. Die Daten zu den Kohlenstoffeinträgen in den Boden an den jeweiligen BZE-Punkten wurden entsprechend Ziche et al. (2019) hergeleitet.

Yasso15 wurde mit dem Modellierungsrahmen Sorcering (Scherstjanoi & Dechow 2021) in der Softwareumgebung R (v.4.0.2, R Core Team 2020) ausgeführt. Allerdings musste Sorcering weiterentwickelt werden (Scherstjanoi & Dechow in prep.), um auch Holzeinträge, wie in Ziche et al. (2019) beschrieben, modellieren zu können. Zur Initialisierung der Simulationen mit Yasso erfolgte ein für alle BZE-Punkte einzeln durchgeführter Modell-Spinup von 3.000 Jahren. Das zum Ende des Spinups gewonnene Mengenverhältnis zwischen den Yasso Modellpools wurde dann vor dem Start der Simulationen auf die gemessenen BZE-Startwerte für den organischen Bodenkohlenstoffvorrat übertragen und somit Startwerte für die Simulation generiert. Um Modellunsicherheiten abzubilden, wurden die Simulationen hundertfach wiederholt mit stochastisch variierenden Modellgrößen ausgeführt:

i. Eine Liste von 10.000 Modellparametersets wurde von den Yasso15-Entwicklern mittels Bayesischer Methoden und Markovketten Monte Carlo Sampling erstellt. Aus dieser Liste erfolgte je stochastischer Wiederholung eine zufällige Auswahl.

ii. Bereits von Ziche et al. (2019) wurden zu jedem Kohlenstoffeintrag Verteilungen generiert um Unsicherheiten zu berücksichtigen. Aus diesen Verteilungen erfolgte eine Zufallsentnahme zur Erstellung von 100 Sets von Inputdaten.

Die Modellergebnisse eines jeden Ausgabejahres wurden stratifiziert um eine bundesweite kartographische Darstellung zu ermöglichen. Grundlage der Stratifizierung 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 (Finnern et al., 1994) und FAO (FAO, 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 367). 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 367: Zusammengefasste Legendeneinheiten auf Grundlage der BÜK 1000

Abk.	Neue Leitbodeneinheiten nach Bodentyp, Substrattyp, Bodenart und Kalkgehalt
1	Böden aus nährstoffarmen Sanden
2	Böden aus sandigen bis lehmigen Terrassen- oder Flussablagerungen
3	Böden aus kalkhaltigen, lehmig-tonigen Terrassen- oder Flussablagerungen
4	Böden aus sandig-lehmigen Geschiebeablagerungen (ohne Stau- oder Grundwassereinfluss)
5	Böden aus sandig-lehmigen Geschiebeablagerungen (mit Stau- oder Grundwassereinfluss)
6	Böden der Lössgebiete (ohne Stau- oder Grundwassereinfluss)
7	Böden der Lössgebiete (mit Stau- oder Grundwassereinfluss)
8	Böden aus Umlagerungsprodukten der Kalk-, Dolomit-, Mergel- und Tonsteinverwitterung
9	Böden aus basischen und intermediären magmatischen Gesteinen
10	Böden aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen
11	Böden aus sauren Sedimentgesteinen
12	Böden aus lösshaltigen Deckschichten über sauren Sedimentgesteinen oder magmatischen und metamorphen Gesteinen
13	Hochgebirgsböden
14	Moore
15	Tidebeeinflusste Böden
16	Initialböden

Für die Auswertung lagen Kohlenstoffvorräte für 1865 Punkte der BZE I und 1813 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. Um unplausible Werte auszuschließen, wurde jeder Datenpunkt, bei dem zwischen den BZE-Zeitpunkten mindestens eine Verdopplung oder Halbierung des Kohlenstoffvorrats stattgefunden hat, von der Modellierung ausgeschlossen. Hiernach blieben 1.710 Punkte übrig, von denen 1.205 Punkte bereits zur BZE I Wald Messungen aufweisen.

6.4.2.5.4 Änderungsraten der organischen Bodenkohlenstoffvorräte

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 mit YASSO modellierten mittleren Bodenkohlenstoffvorräte sind in Abbildung 70 dargestellt. Der obere Linienverlauf in Grün zeigt die erstmalige Erfassung von einem der 1.710 Standorte, während die Linienverläufe im unteren Bereich der Abbildung in Rot den BZE-Wald Zustand, die blaue Kurve die BZE-Wald Veränderung und die schwarze Kurve die Yasso15 Ergebnisse darstellt. In der Abbildung wird deutlich:

- dass die Ergebnisse der Veränderungsrechnung von BZE I-Wald zu BZE II-Wald (blaue Linie) in den Modellergebnissen fortgeführt werden und es im Überlappungsbereich von 2009 bis 2014 deckungsgleiche Ergebnisse zwischen Veränderungsrechnung und Yasso15 gibt,
- sich darüber hinaus der Trend bei den Yasso15 Ergebnissen bis ins Jahr 2050 abflacht
- und solange nicht alle Standorte durch die Modellierung erfasst wurden (bis zum Jahr 2008), die mittleren Modellergebnisse Schwankungen unterworfen sind.

Deswegen werden die Modellergebnisse erst ab 2009 für die Berichterstattung verwendet.

Die mittleren modellierten Änderungsraten der Bodenkohlenstoffvorräte der in den jeweiligen neuen Leitbodeneinheiten befindlichen BZE-Punkten wurden für jedes Simulationsjahr bestimmt. Es ergeben sich Änderungsraten von ca. 0,23 t C ha^{-1} a^{-1} für 1985 bis 2050.

Wegen den unter Punkt 3 im oberen Abschnitt genannten Schwankungen der Modellergebnisse vor dem Jahr 2009 wurde für dem Zeitraum 1990 bis 2008 die Änderungsraten, wie im Abschnitt 1 beschrieben, berechnet. Dabei wird die Veränderungsrate an die Yasso15 Modellergebnisse von 2008 angewendet, indem an jedem Punkt die Veränderungsrate zurückextrapoliert wurde. Dazu wurde die Veränderungsrate an jedem Punkt mit der folgenden Gleichung skaliert:

$$delta_i = delta_mw * SOC_i / SOC_mw$$

delta_mw = Änderungsrate (0.41 tC/ha)

SOC_mw = Mittelwert Bodenkohlenstoffvorrat alle Punkte (Jahr 2008)

SOC_i = Bodenkohlenstoffvorrat am Punkt i

Damit ist eine Angleichung der Yasso15 Modellergebnisse mit der Veränderungsrechnung aus der BZE-Wald I und II und ein Überlappungsbereich mit annähernd identischen Werten gegeben.

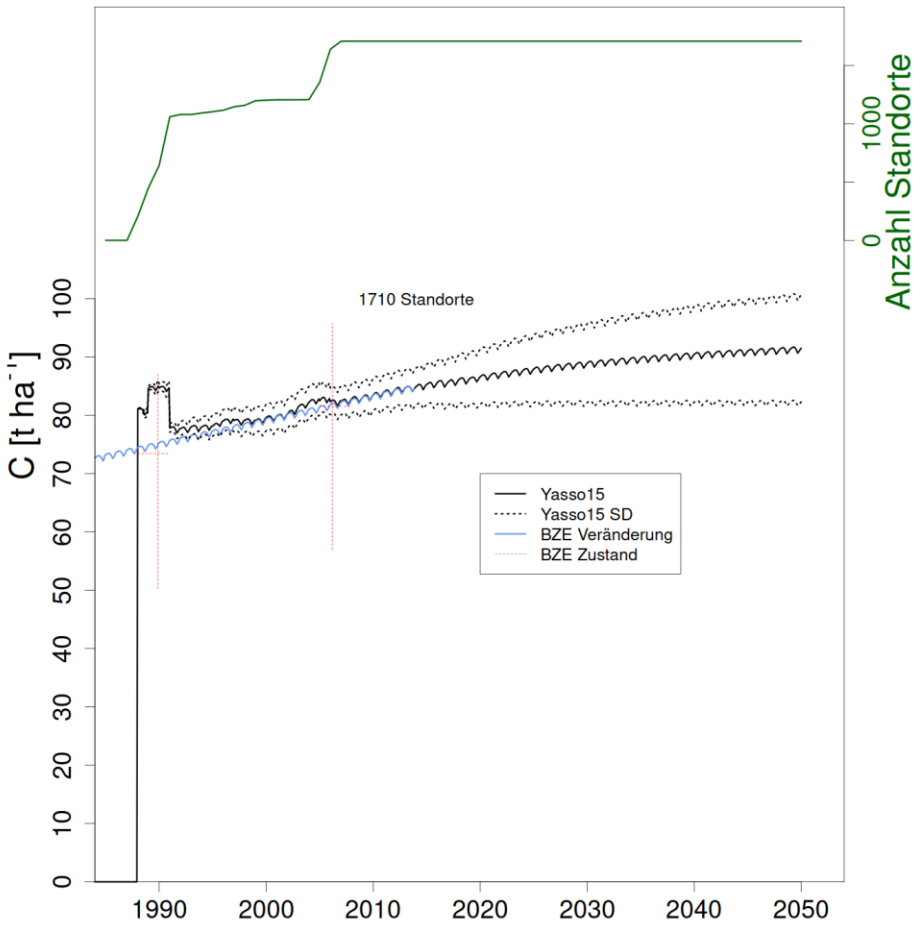


Abbildung 70: Mit Yasso15 und den BZE-Wald-Ergebnisse modellierte bzw. berechneten mittleren Bodenkohlenstoffvorräte in t ha^{-1}

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 2021 257.308 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 368 zusammengefasst.

Tabelle 368: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für organische Böden

Jahr	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
IEF [t CO_2 ha^{-1}]	10,629	10,629	10,628	10,629	10,629	10,629	10,630	10,630	10,630	10,630	10,630	10,618

6.4.2.6.2 Neuwaldflächen

Für die Neuwaldfläche beträgt die Fläche organischer Böden für das Jahr 2021 20.772 ha (siehe Kapitel 6.1.2.2.1). Für organische Böden unter Neuwald werden ebenfalls die in Tabelle 368 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 369 zusammengefasst.

Wiedervernässung auf mineralischen Böden im Wald gibt es nicht und wird in der CRF-Tabelle 4(II) mit NO (not occurring) gekennzeichnet.

Tabelle 369: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Methan und Stickstoff) für organische Böden

Jahr	Methan [kg CH_4 ha-1]	Stickstoff [kg N_2O ha-1]
1990	3,2944	2,7750
1995	3,2952	2,7750
2000	3,2978	2,7749
2005	3,2904	2,7760
2010	3,2877	2,7767
2011	3,2864	2,7771
2012	3,2859	2,7774
2013	3,2829	2,7773
2014	3,2824	2,7768
2015	3,2795	2,7752
2016	3,2765	2,7760
2017	3,2744	2,7765
2018	3,2713	2,7768
2019	3,2675	2,7768
2020	3,2645	2,7765
2021	3,2661	2,7760

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.

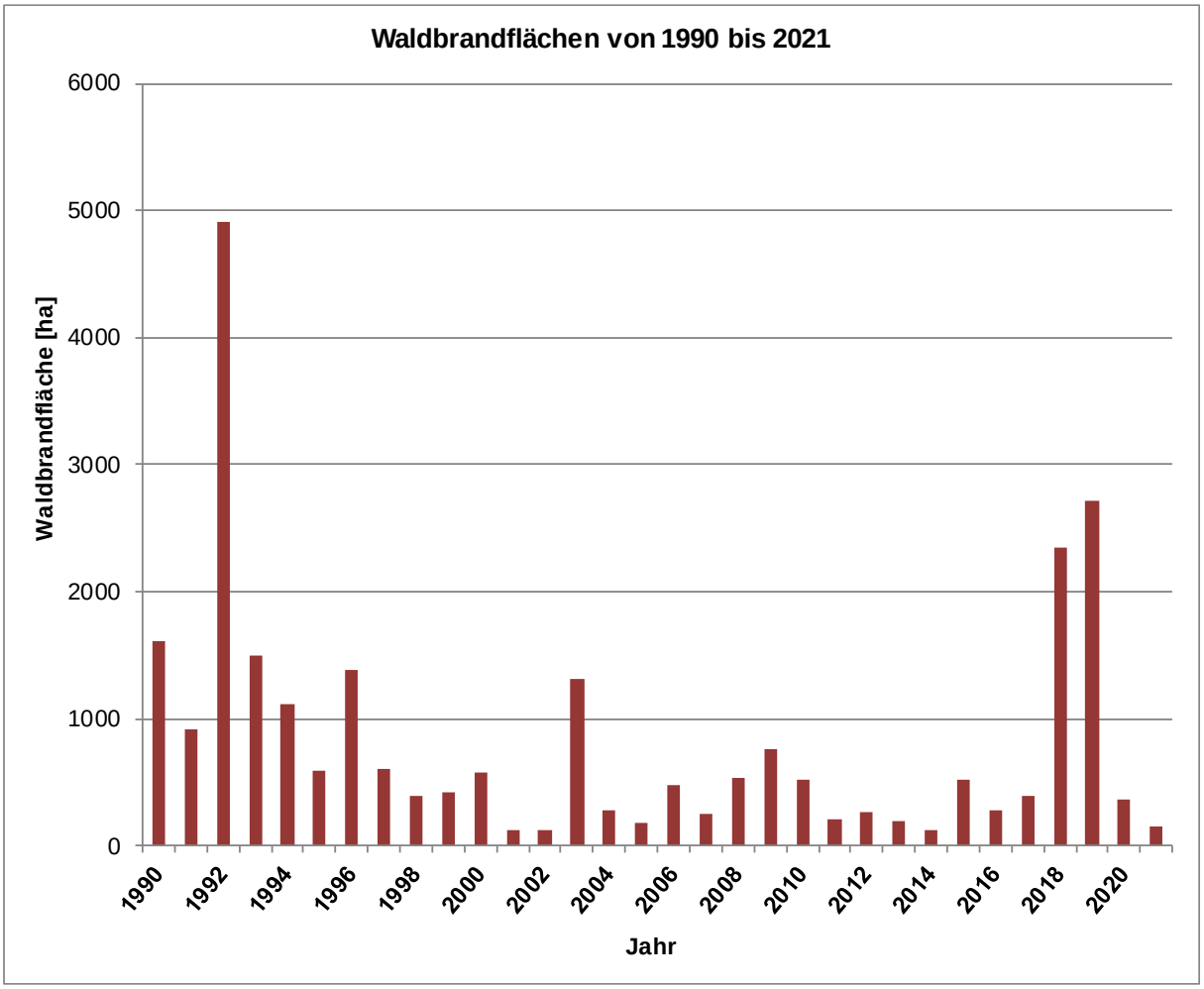
6.4.2.7.4 Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(IV))

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 (2022b)) erfassten Waldbrandflächen bestätig wird (siehe Abbildung 71). Für den Zeitraum 1990-2021 lag die mittlere Waldbrandfläche bei 817 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 71: Waldbrandflächen zwischen 1990 und 2021 (nach BLE, 2022)



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 55 (Equ. 2.27, IPCC (2006a)) berechnet.

Gleichung 55:

$$L_{fire} = A*B*C*D*10^{-6}$$

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 56:

$$M(C) = 0{,}45 * A * B * \alpha * \beta$$

0.45 = Durchschnittlicher Kohlenstoffanteil in Brennholz (average fraction of carbon in fuel wood);

A = *Verbrannte Fläche (area burnt) [m²];*

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 2021 wurden aus der bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geführten Waldbrandstatistik (BLE 2022) 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 der Pools Biomasse und Totholzstehen 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. Die Biomasse des Pools Streu wird aus der BZE I-Wald (1990) und BZE II-Wald (2006) berechnet. Hier wird die jährliche Biomasse durch lineare Interpolation zwischen 1990 und 2006 und Extrapolation ab 2016 ermittelt.

Basierend auf der Expertenschätzung von H. C. König (2007) sind 80 % der Waldbrände in Deutschland Bodenfeuer und 20 % Vollfeuer. Nach Tabelle 2.6 (IPCC, 2006a) 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, 2006a) 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 370 zu finden.

Tabelle 370: Durch Waldbrände emittierte Treibhausgase

Jahr	Oberirdische Biomasse	Totholz	Streu	Waldbrand-fläche [ha]	Emittierte Gase [t]				
	[t ha^{-1}]				CH_4	N_2O	CO	NO_x	NMVOC
1990	170,9	14,0	38,0	1.606	353,31	19,54	8.043,39	225,52	710,4
1991	171,0	13,7	38,0	920	202,18	11,18	4.602,83	129,05	406,5
1992	171,2	13,3	38,0	4.908	1.077,45	59,60	24.529,28	687,74	2.166,4
1993	171,4	12,9	37,9	1.493	327,41	18,11	7.453,88	208,99	658,3
1994	171,5	12,5	37,9	1.114	244,04	13,50	5.555,84	155,77	490,7
1995	171,7	12,1	37,9	592	129,55	7,17	2.949,36	82,69	260,5
1996	171,9	11,8	37,9	1.381	301,89	16,70	6.872,92	192,70	607,0
1997	172,0	11,4	37,8	599	130,81	7,24	2.977,93	83,49	263,0
1998	172,2	11,0	37,8	397	86,60	4,79	1.971,60	55,28	174,1
1999	172,4	10,6	37,8	415	90,43	5,00	2.058,81	57,72	181,8
2000	172,6	10,2	37,8	581	126,47	7,00	2.879,27	80,73	254,3
2001	172,7	9,9	37,7	122	26,53	1,47	603,96	16,93	53,3
2002	172,9	9,5	37,7	122	26,52	1,47	603,81	16,93	53,3
2003	173,6	9,1	37,7	1.315	286,09	15,83	6.513,03	182,61	575,2
2004	174,4	8,7	37,7	274	59,76	3,31	1.360,47	38,14	120,2
2005	175,1	8,3	37,6	183	40,01	2,21	910,97	25,54	80,5
2006	175,8	8,0	37,6	482	105,34	5,83	2.398,16	67,24	211,8
2007	176,6	7,6	37,6	256	55,93	3,09	1.273,33	35,70	112,5
2008	177,3	7,2	37,6	539	118,01	6,53	2.686,58	75,32	237,3
2009	179,3	6,8	37,5	757	167,04	9,24	3.802,89	106,62	335,9
2010	181,2	6,4	37,5	522	115,99	6,42	2.640,59	74,04	233,2
2011	183,2	6,1	37,5	214	47,89	2,65	1.090,30	30,57	96,3
2012	185,2	5,7	37,5	269	60,53	3,35	1.377,95	38,63	121,7
2013	187,2	5,9	37,4	199	45,19	2,50	1.028,88	28,85	90,9
2014	189,1	6,0	37,4	120	27,55	1,52	627,12	17,58	55,4
2015	191,1	6,2	37,4	526	121,74	6,73	2.771,48	77,70	244,8
2016	193,1	6,4	37,4	283	66,16	3,66	1.506,11	42,23	133,0
2017	194,4	6,6	37,3	395	92,86	5,14	2.114,11	59,27	186,7
2018	196,2	6,8	37,3	2.349	557,15	30,82	12.683,97	355,63	1.120,2
2019	198,1	7,0	37,3	2.711	648,42	35,87	14.761,88	413,88	1.303,7
2020	199,9	7,2	37,3	368	88,66	4,90	2.018,52	56,59	178,3
2021	201,8	7,3	37,2	148	35,94	1,99	818,16	22,94	72,3

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 57):

Gleichung 57:

$$U = \frac{\sqrt{\sum_i (U_i x_i)^2}}{\sum_i x_i}$$

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 58)

Gleichung 58:

$$U = \sqrt{\sum_i (U_i)^2}$$

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 371: 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 372: 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 373: 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%**
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 374: 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-Wald und BZE II-Wald 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; Uwe Blum & Ramona Heinbach, 2007). Bei den Ringanalysen zur BZE II-Wald 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-Wald 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-Wald 0,058 t C ha^{-1} a^{-1}, zum Zeitpunkt der BZE II-Wald 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 bzw. mit Methoden, die in einem Überlappungsbereich gleiche Ergebnisse liefern (overlap method) und den selben 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. Es wird immer zwischen verbleibenden Wald, Aufforstung und Entwaldung unterschieden und separat berechnet. 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 (BMELV, 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), Uwe Blum and Ramona 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 (N. 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 375: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	0,68	2,08	2,15	2,10	1,88	1,64	NO
Dänemark	0,15	2,67	2,64	2,96	3,29	NA	NO,NA
Frankreich	0,31	1,04	1,18	1,03	1,02	1,01	0,88
Großbritannien	0,79	0,85	0,89	0,85	NO	0,85	NO
Niederlande	1,26	3,51	3,77	3,32	3,79	3,88	3,78
Österreich	0,23	1,19	1,19	1,19	1,22	1,22	1,17
Polen	0,40	0,87	0,57	1,89	NO	NO	NO
Schweiz	0,55	0,60	0,51	0,59	0,44	0,87	0,67
Tschechische Republik	2,17	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	NO
Deutschland 2020	**0,75**	**-0,51**	**1,03**	**-0,71**	**0,43**	**-0,04**	**1,04**
Deutschland 2021	**0,75**	**-0,58**	**1,03**	**-0,72**	**-0,17**	**-0,32**	**0,17**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle:(UNFCCC, 2021)

Tabelle 376: Kohlenstoffvorratsveränderung des Totholzes in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	0,06	0,05	0,06	0,03	0,05	NO
Dänemark	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	NA	NO,NA
Frankreich	-0,02	0,05	0,09	0,04	0,16	0,06	0,23
Großbritannien	0,30	0,03	0,03	0,03	NO	0,03	NO
Niederlande	0,13	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Österreich	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Polen	0,14	NO,NA	NA	NA	NO	NO	NO
Schweiz	0,01	0,15	0,14	0,14	0,34	0,26	0,19
Tschechische Republik	0,15	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	NO
Deutschland 2020	**0,09**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**
Deutschland 2021	**0,95**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**	**0,003**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 377: Kohlenstoffvorratsveränderung der Streu in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	0,23	0,21	0,23	0,13	0,20	NO
Dänemark	0,36	0,31	0,31	0,34	0,37	NA	NO,NA
Frankreich	NA	0,27	0,43	0,25	0,35	0,27	0,29
Großbritannien	0,04	0,03	0,03	0,03	NO	0,03	NO
Niederlande	0,14	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Österreich	NE,IE	1,21	1,40	1,24	0,78	1,20	1,21
Polen	NO	NO,NA	NA	NA	NO	NO	NO
Schweiz	-0,07	0,68	0,46	0,69	0,66	0,44	0,67
Tschechische Republik	0,41	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	NO
Deutschland 2020	**-0,01**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**
Deutschland 2021	**-0,01**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle ; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 378: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	1,19	2,44	0,98	-0,18	1,94	NO
Dänemark	NO,NA	0,16	0,17	NA	NA	NA	NO,NA
Frankreich	NA	0,07	1,06	-0,06	NO	0,44	NA
Großbritannien	0,39	-0,83	-0,84	-0,83	NO	-0,80	NO
Niederlande	NA	0,01	0,49	-0,29	0,06	0,33	2,13
Österreich	-0,18	0,71	1,21	-0,90	NO	2,64	2,89
Polen	0,09	0,25	0,36	-0,21	NO	NO	NO
Schweiz	0,00	1,19	0,42	1,08	1,58	2,14	4,29
Tschechische Republik	0,03	0,27	0,29	0,16	NO	0,32	NO
Deutschland 2020	**0,41**	**0,21**	**0,31**	**0,12**	**-0,36**	**1,59**	**0,73**
Deutschland 2021	**0,34**	**0,48**	**1,14**	**0,35**	**-0,18**	**1,20**	**3,63**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 379: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	NA	NO,NA
Frankreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	0,00	-2,07	-2,05	-2,08	NO	-2,07	NO
Niederlande	-0,92	-0,94	-0,82	-0,95	-1,05	-0,89	-0,71
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-0,68	-0,74	-0,82	-0,74	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 2020	**-2,65**	**-2,66**	**-2,68**	**-2,65**	**-2,66**	**-2,68**	**-2,49**
Deutschland 2021	**-2,90**	**-2,89**	**-2,88**	**-2,89**	**-2,90**	**-2,70**	**-2,49**

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

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 (siehe Kapitel 6.3.1ff)
- Beim Waldbrand werden ab dieser Submission auch die Biomasse der Pools Totholz und Streu bei der Verbrennung berücksichtigt (siehe Kapitel 6.4.2.7.5).
- Für den Pool mineralischer Boden des Waldes wurde neben der "stock-difference-method" auch eine Modellierung mit YASSO durchgeführt und die "overlap method" verwendet (siehe Kapitel 6.4.2.5ff).

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 380 zusammengefasst.

In Tabelle 381 sind die Emissionen und Differenzen der aktuellen und letzten Submission unterteilt nach Treibhausgasen dargestellt.

Die Umstellung beim Pool mineralische Boden wurde notwendig, da bei der bis jetzt verwendeten "stock-difference-method" die Daten aus den Jahren 1990 und 2006 stammen und ab 2006 die Ergebnisse extrapoliert wurden. Eine Extrapolation über so einen langen Zeitraum entspricht nicht den Vorgaben der IPCC-Guidelines. Deshalb erfolgte ab dem Jahr 2009 eine Umstellung der Methode auf eine Modellierung mit Yasso. Es gibt einen Überlappungsbereich beider Methoden von 2009 bis 2014, indem die Werte beider Methoden sich überlappen und fast identische Werte liefern. Diese Vorgehensweise ist von den IPCC-Guidelines abgedeckt und entspricht der dort beschriebenen "overlap method". Eine Gegenüberstellung der Emissionen sind in Tabelle 382 zu finden.

Die veränderten Emissionen für den Waldbrand sind in Tabelle 383 zusammengefasst.

Tabelle 380: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Landnutzungsmatrix

CRF -Nr	Area [kha]	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4.A	Forest Land	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	11.018,31
		2023	10.805,67	10.859,15	10.912,41	10.918,46	10.939,93	10.952,55	10.960,91	10.969,23	10.977,55	10.985,85	10.994,15
		Differenz	-32,74	-30,96	-29,38	-26,57	-24,99	-24,00	-23,99	-24,02	-24,06	-24,10	-24,16
		in %	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%

Tabelle 381: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Emissionen für die Gase CO_2, Methan und Lachgas (in [kt CO2-eq. mit GWP nach IPCC AR5])

CRF-Nr 4.A Forest Land				
CO_2	Submission 2022	Submission 2023	Differenz	in %
1990	-19.707,07	-18.696,50	1.010,57	-5%
1995	-71.100,39	-70.131,15	969,24	-1%
2000	-51.620,53	-50.666,09	954,44	-2%
2005	-34.757,61	-33.742,36	1.015,25	-3%
2010	-51.058,87	-47.601,17	3.457,70	-7%
2015	-61.754,28	-58.639,37	3.114,90	-5%
2016	-64.173,78	-60.638,79	3.534,99	-6%
2017	-63.163,65	-56.355,49	6.808,16	-11%
2018	-56.103,53	-48.420,84	7.682,69	-14%
2019	-52.777,52	-49.514,44	3.263,08	-6%
2020	-46.252,00	-39.243,83	7.008,17	-15%
CH_4	Submission 2022	Submission 2023	Differenz	in %
1990	44,21	34,39	-9,8	-22%
1995	39,62	28,22	-11,4	-29%
2000	39,82	28,23	-11,6	-29%
2005	37,71	25,66	-12,0	-32%
2010	39,84	28,16	-11,7	-29%
2015	39,84	28,55	-11,3	-28%
2016	38,33	27,12	-11,2	-29%
2017	38,67	27,94	-10,7	-28%
2018	38,37	41,02	2,7	7%
2019	38,02	43,69	5,7	15%
2020	40,24	28,09	-12,2	-30%
N_2O	Submission 2022	Submission 2023	Differenz	in %
1990	413,55	461,78	48,2	12%
1995	396,04	455,62	59,6	15%
2000	379,91	452,78	72,9	19%
2005	353,41	432,55	79,1	22%
2010	352,20	518,50	166,3	47%
2015	339,50	457,41	117,9	35%
2016	337,83	452,94	115,1	34%
2017	337,10	449,90	112,8	33%
2018	341,59	453,96	112,4	33%
2019	341,61	438,65	97,0	28%
2020	333,83	439,75	105,9	32%

Tabelle 382: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Emissionen für den Pool mineralischer Boden (in [kt CO_2-eq])

	4.A.1 Forest Land remaining Forest Land				4.A.2 Land converted to Forest Land			
	Submission				Submission			
Jahr	2022	2023	Differenz	in %	2022	2023	Differenz	in %
1990	-15.549,64	-14.411,02	1.138,61	-7%	705,20	66,42	-638,79	-91%
1995	-15.625,03	-14.483,72	1.141,31	-7%	607,54	14,22	-593,32	-98%
2000	-15.700,44	-14.556,40	1.144,04	-7%	491,85	-34,55	-526,40	-107%
2005	-15.731,38	-14.591,65	1.139,73	-7%	297,97	-90,37	-388,34	-130%
2010	-15.779,90	-12.422,55	3.357,35	-21%	94,69	-155,26	-249,95	-264%
2015	-15.836,53	-12.849,23	2.987,30	-19%	-14,04	-197,23	-183,19	1305%
2016	-15.845,80	-12.413,56	3.432,24	-22%	-38,29	-215,49	-177,20	463%
2017	-15.855,06	-9.192,16	6.662,90	-42%	-62,29	-232,49	-170,20	273%
2018	-15.864,33	-8.304,57	7.559,76	-48%	-86,67	-249,50	-162,84	188%
2019	-15.873,61	-12.778,65	3.094,97	-19%	-111,01	-265,24	-154,22	139%
2020	-15.882,89	-9.055,83	6.827,06	-43%	-135,09	-280,85	-145,76	108%

Tabelle 383: Gegenüberstellung der in Submission 2022 und 2023 berichteten Emissionen (Methan und Lachgas) für den Waldbrand (in [kt CO_2-eq. nach IPCC AR5])

Waldbrand	4.A.1 Forest Land remaining Forest Land			
	Submission			
Jahr	2022	2023	Differenz	in %
1990	11,55	15,07	3,52	30,5%
1995	4,28	5,53	1,25	29,1%
2000	4,22	5,40	1,17	27,8%
2005	1,35	1,71	0,35	26,3%
2010	3,98	4,95	0,97	24,2%
2015	4,23	5,19	0,96	22,8%
2016	2,30	2,82	0,52	22,7%
2017	3,23	3,96	0,73	22,6%
2018	19,41	23,77	4,36	22,5%
2019	22,61	27,66	5,05	22,3%
2020	3,10	3,78	0,69	22,2%

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**4 B, Cropland**		**CO_2**	14.722,3	1,2 %	15.556,9	2,0 %	5,7 %
-/-	4 B, Cropland		CH_4	109,5	0,0 %	95,0	0,0 %	-13,2 %
-/-/2	**4 B, Cropland**		**N_2O**	**208,3**	**0,0 %**	**396,8**	**0,1 %**	**90,5 %**

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 345). Der stratifizierte Einzelnachweis der Ergebnisse der Emissionsberechnungen für diese Subkategorien erfolgt 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 Methode-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, 2006a) 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 (Bundesanzeiger Verlag, 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 384 und im CRF- Tabellenwerk in den Tabellen 4, 4.B, 4(II).B, 4(III).B und 4(IV).2 dargestellt. Die Gesamtemissionen betrugen 2021 in Deutschland 16.049 kt CO_2-Äquivalente nach IPCC AR5. Hauptquellen sind die Böden, vor allem ackerbaulich genutzte organische Böden (72,7 %). Die Mineralböden tragen 20,3 % zur Emissionssumme bei, insbesondere durch Emissionen infolge von Grünlandumbruch. Die anthropogen bedingte Netto-Freisetzung von CO_2 aus der Biomasse (7,0 %) ist im Ackerlandsektor gering; die Subkategorien Obst und Baumschulen fungierten 2021 diesbezüglich als leichte Senken. Landnutzungsänderungen von Wald zu Ackerland fanden 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 (98,0 %) sehr gering (1,6%). Die Subkategorie Baumschulen stellte 2021 eine leichte Nettosenke dar; alle anderen Subkategorien des Ackerlandes fungierten als Nettoquellen (Tabelle 384).

Das dominierende Treibhausgas im Ackerlandsektor ist mit 15.556,89 kt CO_2-Äquivalenten das CO_2 (96,7 %); daran gemessen, sind die zu berichtenden Lachgasemissionen aus dem Zersatz organischer Bodensubstanz infolge Landnutzungsänderung zu Ackerland gering (insgesamt 396.8 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 ≙ 2,8 % , zusammengesetzt aus direkten (323,9 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 (CRF 4(III)) und indirekten Emissionen (72,9 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 (CRF 4(IV)); dies gilt auch für die Methanemissionen (95,0 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 ≙ 0,5 % (CRF 4(II).B)), aus der Nutzung organischer Böden).

Tabelle 384: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus dem Ackerland 2021. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Ackerland Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Acker$_{annuell}$ [1]	∑	**15.730,2**	12.388,8	18.771,4	21,24	19,33
Mineralboden	CO_2 [2]	**2.759,0**	2.702,9	3.130,5	2,04	13,46
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**71,8**	-2,0	256,4	102,73	257,18
	N_2O_{direkt} [3]	**319,0**	118,9	892,3	62,73	179,68
Organischer Boden	CO_2 [2]	**11.490,1**	7.821,1	13.160,5	31,93	14,54
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**93,8**	56,4	153,6	39,87	63,75
Biomasse	CO_2 [2]	**996,2**	638,4	1.359,8	35,92	36,50
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,2**	0,0	0,5	103,07	103,07
Hopfen Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Hopfen [1]	∑	**10,70**	6,03	15,36	43,65	43,47
Mineralboden	CO_2 [2]	**-0,92**	-0,75	-1,11	18,42	20,29
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,02**	0,01	0,06	75,01	173,55
	N_2O_{direkt} [3]	**0,09**	0,05	0,21	52,14	123,48
Organischer Boden	CO_2 [2]	**6,77**	0,10	13,19	98,48	94,95
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,07**	0,00	0,15	101,60	112,50
Biomasse	CO_2 [2]	**4,67**	2,99	6,37	35,92	36,50
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00
Weinbau Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Weinbau [1]	∑	**25,7**	21,13	30,72	18,16	18,98
Mineralboden	CO_2 [2]	**13,5**	12,02	15,22	11,05	12,62
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,1**	0,05	0,39	66,31	163,38
	N_2O_{direkt} [3]	**0,7**	0,41	1,35	37,71	103,93
Organischer Boden	CO_2 [2]	**0,22**	0,08	0,35	65,28	59,16
	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]	**11,17**	5,94	16,45	46,81	47,34
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00
Obstbau Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Obstbau [1]	∑	**25,07**	22,04	28,17	12,26	12,12
Mineralboden	CO_2 [2]	**-20,28**	-19,15	-22,07	5,56	8,83
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,1**	0,01	0,50	96,46	240,42
	N_2O_{direkt} [3]	**0,7**	0,27	1,76	59,40	168,13
Organischer Boden	CO_2 [2]	**50,73**	30,93	67,50	39,03	33,04
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,42**	0,23	0,67	45,77	60,58
Biomasse	CO_2 [2]	**-6,61**	-5,72	-7,51	13,43	13,54
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00

Baumschulen Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Baumschulen[1]	∑	**-13,43**	-11,84	-14,92	11,78	11,24
Mineralboden	CO_2 [2]	**6,46**	5,99	7,10	7,26	9,94
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,05**	0,01	0,13	69,99	173,65
	N_2O_{direkt} [3]	**0,21**	0,12	0,47	42,98	121,53
Organischer Boden	CO_2 [2]	**24,31**	16,67	28,65	31,43	17,86
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,15**	0,09	0,24	40,42	60,25
Biomasse	CO_2 [2]	**-44,62**	-38,03	-51,21	14,77	14,77
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	0,00
Weihnachtbaumkulturen Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Weihnachtsbaum-kulturen[1]	∑	**176,75**	148,15	205,88	16,31	16,31
Mineralboden	CO_2 [2]	**34,14**	31,78	37,33	6,90	9,36
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,45**	0,09	1,36	80,27	200,39
	N_2O_{direkt} [3]	**2,02**	1,02	4,84	49,27	140,08
Organischer Boden	CO_2 [2]	**42,12**	28,38	49,43	32,61	17,35
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,42**	0,25	0,66	40,81	57,71
Biomasse	CO_2 [2]	**97,61**	71,13	124,44	27,13	27,49
Streu/Totholz	CO_2 [2]	**0,00**	0,00	0,00	0,00	1,00
Kurzumtriebsplantagen Emissionen 2021						
Quellgruppe	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
KUPs[1]	∑	**93,70**	76,12	112,10	18,92	19,40
Mineralboden	CO_2 [2]	**19,97**	17,92	22,70	10,26	13,64
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,29**	-0,02	1,06	107,60	268,56
	N_2O_{direkt} [3]	**1,27**	0,43	3,67	66,09	187,74
Organischer Boden	CO_2 [2]	**2,78**	0,43	4,94	84,40	77,72
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**0,08**	0,00	0,17	102,20	123,65
Biomasse	CO_2 [2]	**69,30**	53,32	85,60	23,06	23,52
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 72 und Abbildung 73 zeigen den Verlauf der Emissionen aus dem Ackerland über die Zeit. Die Gesamtemission war im Jahr 2021 um 6,9 % größer als im Basisjahr 1990. Hauptursache für den generellen Trend ist die Zunahme der Emissionen aus den Mineralböden (64,2%), hauptsächlich infolge von Grünlandumbruch (CRF 4.B.2.1.1; 4.B.2.2.1.1 - 4.B.2.2.1.4). Die Emissionen infolge Landnutzungsänderungen von Feuchtgebieten zu Ackerland (0,6 %) sind absolut gering, weisen aber eine Zunahme gegenüber 1990 von 1582 % auf, hauptsächlich zurückzuführen auf den Pool organische Böden, gefolgt von der Biomasse. Die Umwandlung von Siedlungsflächen führte 2021 zu negativen Emissionen in Höhe von 218,33 kt CO_2-Eq. Ein einheitlicher Trend ist nicht auszumachen (Abbildung 72).

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 und 2021 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 sind 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 (2006a): 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 72: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2021 nach Unterkategorien (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)

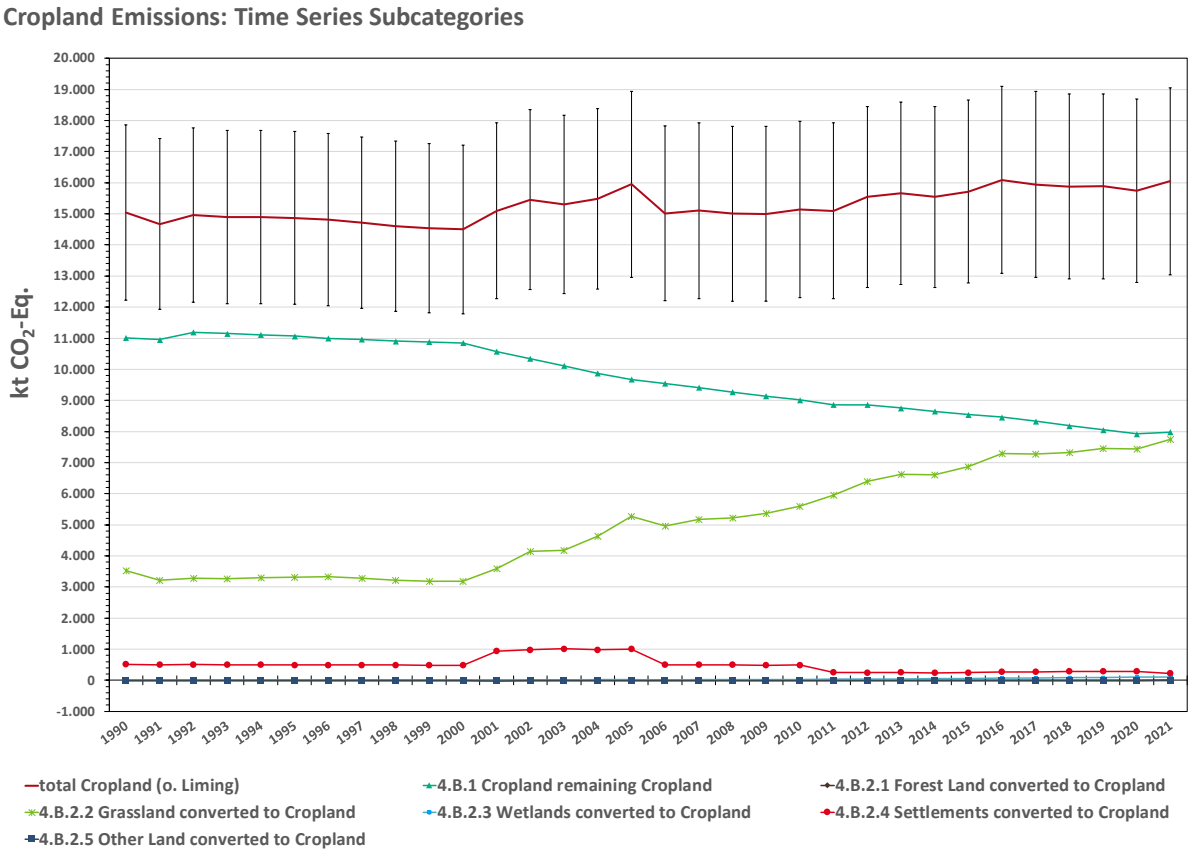
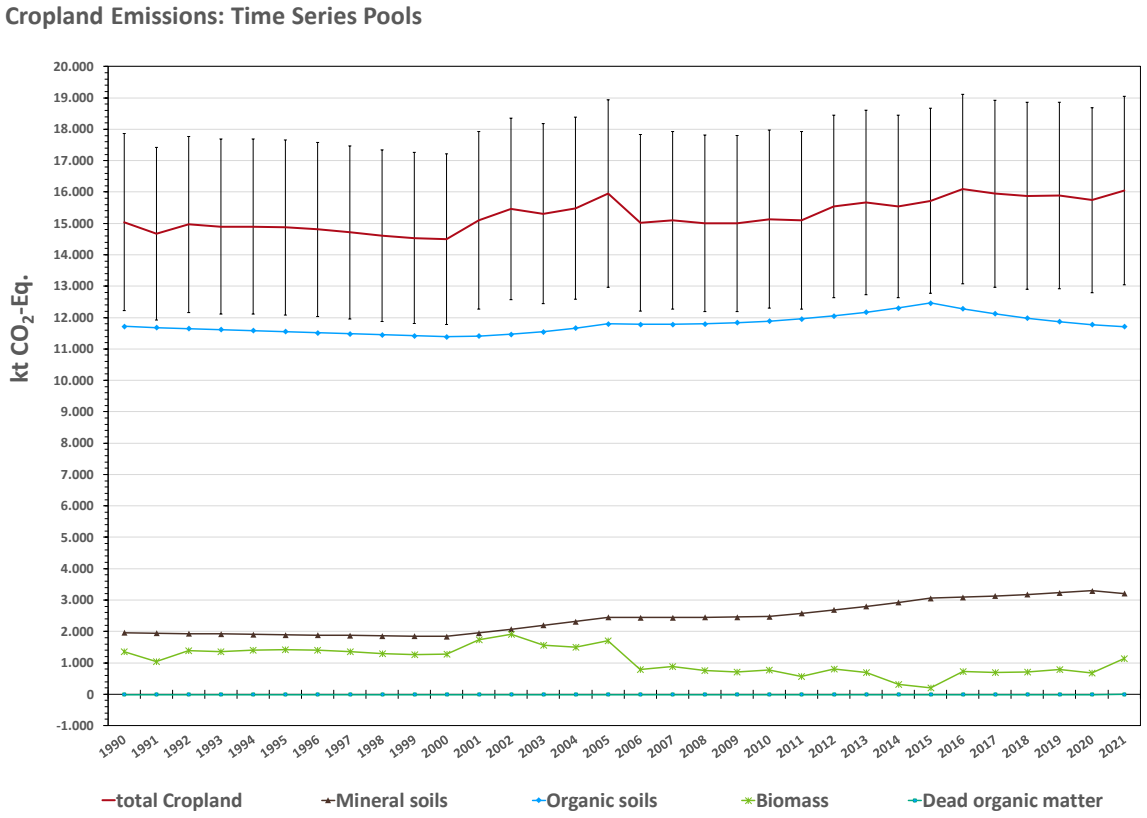


Abbildung 73: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2021 nach Pools (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)



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, 2006a);
- „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 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 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 (*Ackerland$_{annuell}$*) in Kapitel 6.1.2.3.3,
- Hopfenanbauflächen in Kapitel 6.1.2.3.5.6,
- *Obstanbauflächen* in Kapitel 6.1.2.3.5.1,
- 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 direkte Lachgasemissionen

in Tabelle 342 (Kapitel 6.1.2.7), und für indirekte N_2O-Emissionen in Tabelle 343 (Kapitel 6.1.2.8) dargestellt. Die Herleitung der Emissionsfaktoren ist in Kapitel 6.1.2.1 beschrieben, die Unsicherheiten sind in Tabelle 386 (Kapitel 6.5.3) 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, 2006a) 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 Bayerisches Landesamt für Umwelt BLfU (2011); U. Blum and R. 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). 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,
4. -die Abschätzung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der Verbleibkategorie $Ackerland_{annuell}$ mittels des Tier 1 - Verfahrens der 2006 IPCC Guidelines.

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:

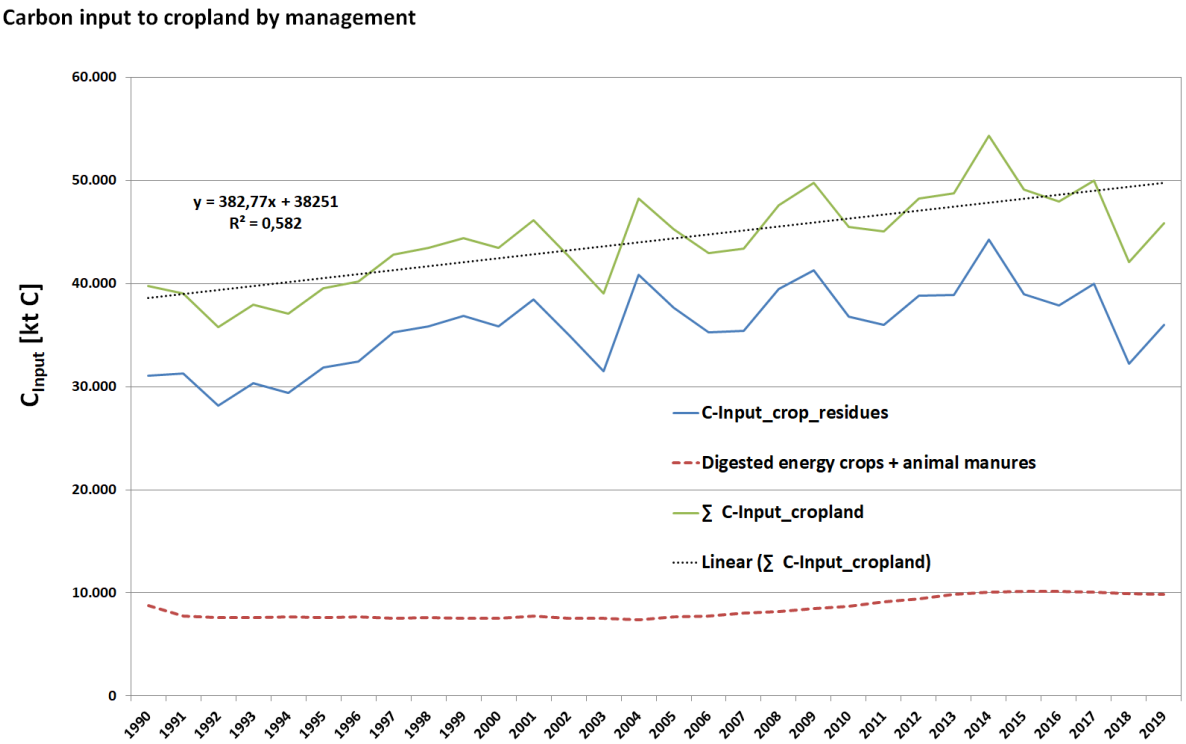
- Die bundesweite Auswertung der BDF bezüglich Kohlenstoffvorratsänderungen bestätigt das Bild der bisherigen Länderbetrachtung. Der Anteil der Standorte, an denen keine statistisch abgesicherten Veränderungen auftreten überwiegt deutlich; so zeigen 77 % der Mineralböden unter Acker keine Kohlenstoffvorratsänderungen, 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 74 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 74: 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.

zu 4.) Auf Empfehlung des ERT wurde eine Abschätzung der Emissionen der Verbleibkategorie für annuelles Ackerland anhand der Tier 1 - Methode der 2006 IPCC Guidelines durchgeführt. Dadurch sollte ein weiterer Nachweis erbracht werden, dass die Unterstellung, der Kohlenstoffhaushalt der Mineralböden unter annuellem Ackerland sei in etwa im Gleichgewicht, konservativ ist.

Daher wurde ein konservatives Szenario dieser Abschätzung zugrunde gelegt und zusätzlich von vornherein der Eintragsfaktor ($F_I$high) ausgeschlossen, obschon die z.T. o.a. Randdaten darauf hindeuten, dass ein wahrscheinlich nicht unerheblicher Teil der deutschen Ackerfläche einem entsprechenden Eintrag unterliegen dürfte. Dem Szenario wurde weiter zugrunde gelegt:

- Ergebnisse der BZE-LW bezüglich des Ist-Zustandes des Kohlenstoffvorrates mineralischer Ackerböden Deutschlands (JACOBS et al. 2018) zur Ermittlung des Landnutzungsfaktors (FLU)
- Daten der amtlichen Statistik zur Ermittlung des Managementfaktors (FM) zur Ackerbodenbearbeitung (voll wendend 57 %, reduziert 42 %, Direktsaat 1 %)
- die Ergebnisse des langfristigen Bodenmonitorings (s.o.: SOC-Abnahme auf 13 % der Ackerfläche, eine Zunahme auf 10 % und 77 % sind unverändert (MARX et al., 2016)).

Tabelle 385 zeigt die Ergebnisse dieser Abschätzung. Selbst unter den a priori konservativen Annahmen zeigt die Abschätzung mittels des Tier 1 - Ansatzes der 2006 IPCC Guidelines eine Zunahme des Bodenkohlenstoffvorrates für die mineralischen Ackerböden Deutschlands in der Verbleibkategorie. Dieses Ergebnis unterlegt somit die These, dass die Unterstellung, der Kohlenstoffvorrat der Mineralböden unter langjährig annuellen Ackerlandkulturen befindet sich in etwa im Gleichgewicht, konservativ ist.

Tabelle 385: Berechnungsschritte und Ergebnisse der Anwendung der Tier 1-Methode der 2006 IPCC Guidelines auf die Verbleibkategorie deutscher Ackerböden (*Ackerland$_{annuell}$*)

Management factor (F_{MG})					
	Share in Cropland Area	**SOC - Stock**		**SOC - Stock Change**	
	[%]	**IPCC-Default**	**[kt C]**	**[kt C 20 a^{-1}]**	**[kt C a^{-1}]**
SOC - Stock 2020			660.184		
full tillage	57	1	376.305		
reduced	42	1,08	299.459		
direct seed	1	1,15	7.592		
∑			683.356	23.172	1.159
Input factor (F_I)					
	Share in Cropland Area	**SOC - Stock**		**SOC - Stock Change**	
	[%]	**IPCC-Default**	**[kt C]**	**[kt C 20 a^{-1}]**	**[kt C a^{-1}]**
low input	13	0,92	78.958		
medium	77	1	508.341		
high	10	1,1	72.620		
∑			659.919	-264	-13
SOC - Stock Difference (∑ - SOC - Stock 2020)				22.908	1.145,4

In der Ackerland Verbleibkategorie werden dennoch Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden ausgewiesen. Diese sind auf "Nutzungsübergänge" zwischen den Subkategorien des Ackerlandes zurückzuführen. Solche werden wie Landnutzungsänderungen behandelt, die daraus resultierenden Emissionen jedoch summarisch in der Verbleibkategorie zusammengefasst (Kapitel 6.1.2.1).

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 und 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, 2006a). Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 6.1.2.1. Tabelle 386 bis Tabelle 393 zeigen die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren (EF) des Ackerlandsektors, unterschieden nach Pools und Unterkategorien.

Die Tabellen unterstreichen, dass Standardnormalverteilungen bzw. annähernd Normalverteilungen hauptsächlich die EF für die Biomasse aufweisen. Der Großteil der Unsicherheiten im Zusammenhang mit Böden ist lognormal verteilt, wogegen die CO^2-Emissionen aus organischen Böden eine Dreiecksverteilung aufweisen. Die größten Unsicherheiten weisen die N_2O- EF für Mineralböden auf, was im Wesentlichen auf die Nutzung der IPCC-Standardfaktoren zurückzuführen ist.

Im Rahmen der Gaußschen Berechnung der Unsicherheitenfortpflanzung, wurden für die untere Schranke des 95 %-Konfidenzintervalls vereinzelt Unsicherheiten > 100 % berechnet. Die angewandte Berechnungsmethode entspricht zwar dem Reglement, ist hier fachlich jedoch nicht zielführend, da bestimmte Prozesse nicht zu negativen Emissionen führen können, wie z.B. die direkten/indirekten N_2O-Emissionen aus Mineralböden infolge des Zersatzes der organischen Bodensubstanz. 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 0,05 – 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 0,05 % [Hälfte des 95-% Konfidenzintervalls].

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Ackerland beträgt für das Jahr 2021 20,47 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 18,63 % [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).

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die impliziten Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] zur Berechnung der THG-Emissionen aus den Ackerlandsubkategorien Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5 %-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2021.

Tabelle 386: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus annuellem Ackerland

$Ackerland_{annuell}$		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C [1)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	-1,9606	99,9	113,86
Hopfen		-0,1609	5,75	14,2
Weinanbau		0,2466	17,96	17,96
Obstanbau		-0,6737	11,43	11,43
Kurzumtriebsplantagen		-0,2550	22,40	25,89
Baumschulen		-0,0578	10,27	16,56
Weihnachtsbaumkulturen		0,0401	12,54	18,05
Grünland i.e.S.		-0,6833	2,21	14,84
Gehölze		-0,7986	4,58	15,37
Hecken		-0,7973	9,52	17,49
Terr. Feuchtgebiete		-1,2640	40,10	41,21
Gewässer		0,0000	3,27	26,01
Siedlungen		0,2090	3,88	12,88
Sonstige Fläche		1,9424	48,33	52,33
Mineralboden N_2O_{direkt} [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	5,0000	99,9	230,14
Grünland i.e.S.		1,0862	70,05	200,66
Gehölze		1,2017	70,16	200,70
Hecken		1,1195	70,65	200,87
Terr. Feuchtgebiete		1,8078	82,25	204,83
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ [2)]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	$Acker_{annuell}$	1,0943	99,9	308,52
Grünland i.e.S.		0,2444	99,9	287,20
Gehölze		0,2704	99,9	287,23
Hecken		0,2519	99,9	287,35
Terr. Feuchtgebiete		0,4068	99,9	290,13

Ackerland$_{annuell}$		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		untere	obere
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Acker$_{annuell}$	-35,6849	99,9	115,57
Hopfen		0,0396	10,08	10,08
Weinanbau		-0,0248	19,31	19,31
Obstanbau		-0,2526	12,88	12,88
Kurzumtriebsplantagen		-1,7918	22,84	23,61
Baumschulen		-0,3370	21,57	21,57
Weihnachtsbaumkulturen		-1,0421	28,76	28,76
Grünland i.e.S.		0,0026	16,28	16,28
Gehölze		-3,7841	51,75	52,55
Hecken		-53,1307	52,39	53,19
Terr. Feuchtgebiete		-0,9820	49,14	50,25
Gewässer		0,0000	12,08	12,08
Torfabbau		0,0154	19,77	19,77
Siedlungen		-0,8869	45,90	47,36
Sonstige Fläche		0,0086	42,62	42,62
Tote organische Substanz [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Acker$_{annuell}$	-20,6215	99,9	103,70

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 387: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus dem Hopfenanbau

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	7,78	7,78
Acker$_{annuell}$		0,1164	12,01	17,69
Weinanbau		0,6795	99,9	196,23
Obstanbau		-0,4121	74,56	74,56
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	7,84	7,84
Baumschulen		0,0000	99,9	196,16
Weihnachtsbaumkulturen		0,0053	99,9	196,16
Grünland i.e.S.		-0,5864	33,98	35,31
Gehölze		-0,7440	99,9	113,68
Hecken		0,0000	4,97	10,81
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	9,33	9,33
Gewässer		0,0000	11,09	11,09
Siedlungen		0,4687	99,9	138,70
Sonstige Fläche		0,0000	16,52	16,52
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	70,29	200,40
Grünland i.e.S.		0,7493	77,69	203,45
Gehölze		0,9317	99,9	230,37
Hecken		0,0000	70,04	200,66
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	72,30	201,04

Hopfen		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		untere	obere
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ 2)		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	99,9	287,02
Grünland i.e.S.		0,1686	99,9	289,16
Gehölze		0,2096	99,9	308,69
Hecken		0,0000	70,04	200,66
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	99,9	287,47
Biomasse 3)		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	23,47	23,47
Acker$_{annuell}$		-0,1264	14,49	14,49
Weinanbau		0,0000	99,9	196,44
Obstanbau		-2,0305	75,08	75,08
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	7,77	9,83
Baumschulen		0,0000	99,9	197,06
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	99,9	197,94
Grünland i.e.S.		-0,2282	37,40	37,40
Gehölze		-3,5332	99,9	124,94
Hecken		0,0000	43,20	19,64
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	42,49	43,84
Gewässer		0,0000	16,54	16,54
Torfabbau		0,0000	16,54	16,54
Siedlungen		-4,3689	99,9	146,71
Sonstige Fläche		0,0000	16,54	16,54
Tote organische Substanz 3)		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	0,00	0,00

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 388: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha-1 a-1] und ihre Unsicherheiten aus dem Weinanbau

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	8,99	8,99
Acker$_{annuell}$		-0,2909	14,63	20,63
Hopfen		-0,7374	74,68	74,68
Obstanbau		-1,0647	31,16	31,16
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	9,41	9,41
Baumschulen		-0,6795	99,9	113,55
Weihnachtsbaumkulturen		-0,6726	99,9	138,91
Grünland i.e.S.		-0,9889	18,78	21,56
Gehölze		-0,8548	31,60	33,32
		0,0000	6,16	12,24
Terr. Feuchtgebiete		-1,2246	99,9	196,28
Gewässer		0,0000	16,07	16,07
Siedlungen		0,2770	51,05	51,05
Sonstige Fläche		0,0000	20,61	20,61

Weinanbau		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		untere	obere
Mineralboden N_2O_{direkt} 2)		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	**Weinanbau**	0,0000	70,29	200,40
Grünland i.e.S.		1,1030	72,25	201,44
Gehölze		0,9456	76,59	203,04
Hecken		0,0000	70,04	200,66
Terr. Feuchtgebiete		0,8750	99,9	280,77
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ 2)		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Wald	**Weinanbau**	0,0000	99,9	287,02
Grünland i.e.S.		0,2482	99,9	287,75
Gehölze		0,2128	99,9	288,87
Hecken		0,0000	99,9	287,20
Terr. Feuchtgebiete		0,1969	99,9	347,93
Biomasse 3)		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	**Weinanbau**	0,0000	22,91	22,91
Acker$_{annuell}$		0,0280	17,32	17,32
Hopfen		-0,0757	75,24	75,24
Obstbau		-0,5242	31,83	31,83
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	7,66	9,66
Baumschulen		0,1200	99,9	114,81
Weihnachtsbaumkulturen		0,1486	99,9	140,97
Grünland i.e.S.		0,0176	24,65	24,65
Gehölze		-4,1529	59,62	60,30
		0,0000	50,94	51,73
Terr. Feuchtgebiete		0,1632	99,9	200,35
Gewässer		0,0000	18,95	18,95
Torfabbau		0,0000	18,95	18,95
Siedlungen		-1,5096	67,58	68,53
Sonstige Fläche		0,0000	18,95	18,95
Tote organische Substanz 3)		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	**Weinanbau**	0,0000	0,00	0,00

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 389: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus dem Obstanbau

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	8,17	8,17
$Acker_{annuell}$		0,4492	18,48	30,52
Hopfen		0,3885	99,9	113,48
Weinanbau		0,9546	45,49	45,49
Kurzumtriebsplantagen		0,3822	57,21	57,21
Baumschulen		0,4205	29,53	29,53
Weihnachtsbaumkulturen		0,3950	25,92	25,92
Grünland i.e.S.		-0,4637	13,21	16,02
Gehölze		-0,2564	31,18	32,47
		-0,6122	99,9	139,02
Terr. Feuchtgebiete		-1,8440	99,9	196,23
Gewässer		0,0000	12,54	12,54
Siedlungen		1,0757	34,22	34,22
Sonstige Fläche		0,0000	16,18	16,18
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Obstanbau**	0,0000	70,29	200,40
Grünland i.e.S.		0,5894	71,03	201,00
Gehölze		0,2100	76,44	202,98
		0,1470	99,9	243,87
Terr. Feuchtgebiete		1,3604	99,9	280,77
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Obstanbau**	0,0000	99,9	287,02
Grünland i.e.S.		0,1326	99,9	287,45
Gehölze		0,0473	99,9	288,83
		0,0331	99,9	318,89
Terr. Feuchtgebiete		0,3061	99,9	347,93
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Obstanbau**	0,0000	17,68	17,68
$Acker_{annuell}$		0,4912	13,25	13,25
Hopfen		0,6881	99,9	113,82
Weinbau		0,6406	45,95	45,95
Kurzumtriebsplantagen		-4,1578	57,03	57,26
Baumschulen		-0,5804	31,88	31,88
Weihnachtsbaumkulturen		-0,7985	29,78	29,78
Grünland i.e.S.		0,4452	17,48	17,48
Gehölze		-7,1716	53,55	54,13
		-26,4244	99,9	145,76
Terr. Feuchtgebiete		-9,8175	99,9	198,48
Gewässer		0,0000	14,41	14,41
Torfabbau		5,3809	99,9	139,34
Siedlungen		-1,3695	49,11	49,94
Sonstige Fläche		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	0,00	0,00

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 390: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus Baumschulen

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	7,78	7,78
Acker$_{annuell}$		-0,1157	7,76	15,13
Hopfen		0,0000	7,84	7,84
Weinbau		0,5982	88,16	88,16
Obstbau		-0,3712	30,27	30,27
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	7,84	7,84
Grünland i.e.S.		-0,9584	14,52	17,41
Gehölze		0,0000	4,97	10,81
Hecken		-1,6948	99,9	196,30
Terr. Feuchtgebiete		-2,3085	99,9	196,22
Gewässer		0,0000	11,09	11,09
Siedlungen		0,5116	23,48	23,48
Sonstige Fläche		0,0000	16,52	16,52
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	70,29	200,40
Grünland i.e.S.		0,8422	71,36	201,12
Gehölze		0,0000	70,04	200,66
Hecken		1,0429	99,9	280,50
Terr. Feuchtgebiete		1,9170	99,9	280,77
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	99,9	287,02
Grünland i.e.S.		0,1895	99,9	287,53
Gehölze		0,0000	99,9	287,20
Hecken		0,2347	99,9	347,71
Terr. Feuchtgebiete		0,4313	99,9	347,93
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	18,15	18,15
Acker$_{annuell}$		1,1479	20,51	20,51
Hopfen		0,0000	20,45	20,45
Weinbau		1,7922	89,78	89,78
Obstbau		-3,0235	32,69	32,69
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	8,47	9,70
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	19,47	19,47
Grünland i.e.S.		4,1842	24,33	24,33
Gehölze		0,0000	41,50	42,14
Hecken		-57,2581	99,9	200,48
Terr. Feuchtgebiete		3,2447	99,9	141,53
Gewässer		0,0000	23,39	23,39
Torfabbau		0,0000	23,39	23,39
Siedlungen		-0,6491	39,59	40,40
Sonstige Fläche		0,0000	23,39	23,39
Tote organische Substanz [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Baumschulen	0,0000	0,00	0,00

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 391 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus Weihnachtsbaumkulturen

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	7,78	7,78
Acker$_{annuell}$		-0,2069	8,18	15,35
Hopfen		0,0000	7,84	7,84
Weinbau		0,6795	99,9	138,91
Obstbau		-0,3998	28,98	28,98
Baumschulen		0,0000	7,84	7,84
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	7,84	7,84
Grünland i.e.S.		-0,9958	11,53	15,00
Gehölze		-0,8944	10,19	14,00
Hecken		0,0000	4,97	10,81
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	99,9	196,22
Gewässer		0,0000	11,09	11,09
Siedlungen		0,7261	39,56	39,56
Sonstige Fläche		0,0000	16,52	16,52
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Weihnachtbaumkulturen**	0,0000	70,29	200,40
Grünland i.e.S.		0,8349	70,81	200,93
Gehölze		0,8431	70,60	200,85
Hecken		0,0000	70,04	200,66
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	99,9	280,77
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Weihnachtbaumkulturen**	0,0000	99,9	287,02
Grünland i.e.S.		0,1879	99,9	287,39
Gehölze		0,1897	99,9	287,34
Hecken		0,0000	99,9	287,20
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	99,9	347,93
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Weihnachtbaumkulturen**	0,0000	20,94	20,94
Acker$_{annuell}$		-2,3289	27,25	27,25
Hopfen		0,0000	27,63	27,63
Weinbau		-3,3691	99,9	140,97
Obstbau		-2,7410	33,32	33,32
Baumschulen		0,0000	9,36	10,62
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	19,47	19,47
Grünland i.e.S.		1,0786	29,06	29,06
Gehölze		-3,4071	44,96	45,62
Hecken		0,0000	44,09	44,76
Terr. Feuchtgebiete		2,1883	99,9	170,42
Gewässer		0,0000	32,85	32,85
Torfabbau		0,0000	32,85	32,85
Siedlungen		-3,6937	52,24	52,98
Sonstige Fläche		0,0000	32,85	32,85
Tote organische Substanz [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	**Weihnachtbaumkulturen**	0,0000	0,00	0,00

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 392 Implizite Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] und ihre Unsicherheiten aus Kurzumtriebsplantagen

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	7,78	7,78
Acker$_{annuell}$		-0,0693	12,24	17,85
Hopfen		0,0000	99,9	196,16
Weinbau		0,6795	88,16	88,16
Obstbau		-0,4903	36,20	36,20
Baumschulen		0,0001	16,69	16,69
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	7,84	7,84
Grünland i.e.S.		-0,9355	23,17	25,08
Gehölze		-0,9026	10,93	14,55
Hecken		0,0000	4,97	10,81
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	9,33	9,33
Gewässer		0,0000	11,09	11,09
Siedlungen		0,3823	59,34	59,34
Sonstige Fläche		0,0000	16,52	16,52
Mineralboden N_2O_{direkt} [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	70,29	200,40
Grünland i.e.S.		0,8213	73,61	201,93
Gehölze		0,8134	70,71	200,89
Hecken		0,0000	70,04	200,66
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	72,30	201,04
Mineralboden $N2O_{indirekt}$ [2]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	99,9	287,02
Grünland i.e.S.		0,1848	99,9	288,09
Gehölze		0,1830	99,9	287,37
Hecken		0,0000	99,9	287,20
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	99,9	287,47
Biomasse [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	9,57	10,60
Acker$_{annuell}$		4,0746	13,18	14,46
Hopfen		4,0746	99,9	196,25
Weinbau		4,0746	87,99	88,18
Obstbau		4,0746	35,92	36,28
Baumschulen		4,0746	16,96	17,61
Weihnachtsbaumkulturen		0,0000	9,36	10,62
Grünland i.e.S.		4,0746	23,67	24,42
Gehölze		-4,6290	29,50	30,07
Hecken		0,0000	27,89	28,49
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	14,71	15,77
Gewässer		0,0000	8,12	10,30
Torfabbau		0,0000	8,12	10,30
Siedlungen		4,0746	62,02	62,32
Sonstige Fläche		0,0000	8,12	10,30
Tote organische Substanz [3]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Kurzumtriebsplantagen	0,0000	0,00	0,00

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 393: Implizite Emissionsfaktoren für organischen Böden unter Ackerland [t CO2-Eq. IPCC AR5 ha^{-1} a^{-1}] sowie deren Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) für das Jahr 2021

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
$Acker_{annuell}$	**CO_2**	35,09	43,20	19,64
	N_2O 2)	IE	83,78	264,87
	CH_4	0,32	57,08	91,29
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Hopfen	**CO_2**	35,06	99,9	139,98
	N_2O 2)	IE	99,9	298,93
	CH_4	0,37	99,9	165,96
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Weinanbau	**CO_2**	55,04	71,18	59,89
	N_2O 2)	IE	99,9	270,84
	CH_4	0,41	80,37	107,40
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Obstanbau	**CO_2**	45,18	43,63	20,58
	N_2O 2)	IE	84,01	264,94
	CH_4	0,37	57,41	91,49
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Baumschulen	**CO_2**	37,00	43,71	20,74
	N_2O 2)	IE	84,05	264,95
	CH_4	0,22	57,47	91,53
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Weihnachtsbaum-kulturen	**CO_2**	34,84	43,44	20,18
	N_2O 2)	IE	83,91	264,91
	CH_4	0,35	57,27	91,40
Organischer Boden 1)		**[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	[%]
Kurzumtriebsplantagen	**CO_2**	33,93	51,33	33,97
	N_2O 2)	IE	88,25	266,31
	CH_4	0,93	63,45	95,40

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 1990-2021 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 2022 des Klimasekretariats verwendet (UNFCCC NIR Submission 2022 - Inventurjahr 2020, (UNFCCC, 2021)). Werte für Deutschland 2021 stammen aus der aktuellen Submission 2023. Der Vergleich ist von vornherein problematisch, da die zu vergleichenden Werte methodisch z.T auf sehr unterschiedliche Art erhoben werden und vorallem auch die Grenzen der Systeme mitunter deutlich divergieren. Angesichts dessen und unter Berücksichtigung der großen Unsicherheiten und Streuung der berichteten Werte (siehe Kapitel 6.5.3) zeigt der Vergleich für keinen der verglichenen Pools implizite Emissionsfaktoren (IEF),

die einen eindeutigen Ausreißer darstellen. Die EF finden eine Entsprechung in absoluter Größe und Tendenz, mit denen diverser mitteleuropäischen Nachbarländer.

Tabelle 394: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	0,000	-0,047	-3,160	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-0,015	-0,086	-1,744	0,230	NA	NA	NA
Frankreich	-0,002	-0,270	-4,218	-0,096	NA	-0,034	NA
Großbritannien	0,000	0,074	NO,IE	0,072	NO	0,342	NO
Niederlande	NA	-0,221	-4,160	-0,198	0,549	0,385	0,608
Österreich	-0,001	0,015	-1,255	0,046	NO	NO	NO
Polen	0,034	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	0,033	0,095	-1,995	0,093	0,166	0,230	0,259
Tschechische Republik	0,001	-0,243	-2,258	-0,201	0,177	NO	NO
Deutschland 2020	-0,0003	-0,204	NO	-0,164	-0,099	-1,050	0,133
Deutschland 2021	-0,0007	-0,136	NO	-0,091	-0,63	-1,086	0,159

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2022b)

Tabelle 395: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,003	-0,180	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NA	-0,298	-1,878	NO,NA	NA	NA	NA
Frankreich	NA	-0,020	-0,455	NA	NA	NA	NA
Großbritannien	NA	NO,IE	NO	IE	NO	NO,IE	NO
Niederlande	NA	-0,012	-1,214	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,017	-0,696	NO	NO	NO	NO
Polen	NA	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,001	-0,548	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	-0,013	-0,224	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2021	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2022b)

Tabelle 396: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,014	-1,274	-2,435	-1,272	NO	NO	NO
Dänemark	0,011	-0,080	-0,356	NO,IE	-1,774	NA	NA
Frankreich	0,131	-1,094	-1,244	-1,171	NO	0,061	NA
Großbritannien	-0,337	-1,202	-2,397	-1,226	NO	2,700	NO
Niederlande	NA	-0,472	0,184	-0,483	-0,971	-0,206	2,619
Österreich	0,015	-0,984	-0,759	-0,989	NO	NO	NO
Polen	-0,008	-0,112	NO	-1,139	NO	NO	NO
Schweiz	0,245	-0,215	-0,475	-0,343	0,836	1,920	2,568
Tschechische Republik	0,001	-0,261	-0,261	-0,477	NO	0,058	NO
Deutschland 2020	-0,001	-0,986	NO	-1,100	-0,311	1,184	0,277
Deutschland 2021	-0,001	-0,657	NO	-0,699	-1,261	0,169	1,926

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2022b)

Tabelle 397: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-10,000	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-7,532	-0,179	IE	-5,002	IE	NA	NA
Frankreich	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-8,184	-5,135	-8,193	-5,000	NO	NO	NO
Niederlande	-3,515	-3,624	-3,476	-3,625	-3,784	-3,719	-3,102
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-1,000	-1,000	NO	-1,000	NO	-1,000	NO
Schweiz	-9,520	-8,977	-9,520	-9,520	-9,520	-1,233	2,480
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	-9,425	-9,160	NO	-9,147	-9,408	-9,469	-9,203
Deutschland 2021	-9,681	-9,539	NO	-9,528	-9,851	-9,737	-9,604

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2022b)

6.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.B)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2021 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue und verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Ackerland hatten folgende Maßnahmen:

- Komplette Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in den Programmiersprachen R und C++

- Thematische, räumliche und zeitliche 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)
- Einführung neuer regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie *Gebäude und Freiflächen* der Landnutzungskategorie *Siedlungen* (s. Kapitel 6.1.2.1.6) und der Landnutzungskategorie *Sonstiges Land* (s. Kapitel 6.1.2.1.7)
- Implementierung flächendeckender, hochauflösender Karten regionalisierter Mineralbodenkohlenstoff- bzw. -stickstoffvorräte für die Landnutzungskategorien *Ackerland*$_{annuell}$, *Grünland* und *Wald* in die Methodik zur Erfassung der THG-Emissionen aus Mineralböden (s. Kapitel 6.1.2.1ff)
- Für den Pool mineralischer Boden des Waldes wurde neben der „stock-difference-method“ auch eine Modellierung mit YASSO durchgeführt und die „overlap method“ verwendet (siehe Kapitel 6.4.2.5ff)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Ackerland in Tabelle 398 (Flächen) und Tabelle 399 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen. Diese bedingen sich in der Neuprogrammierung des Rechenmodells sowie der Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten, durch Einarbeitung der neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres. 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 bezüglich der THG-Emissionen haben zahlreiche Ursachen, deren Auswirkungen sich in der zusammenfassenden Darstellung multipel überlagern, z.B.:

- kleinere Änderungen in den Flächen
- unterschiedliche Wasserstände in den organischen Böden (CH_4-Emissionen (s. Tabelle 399))
- insbesondere aber die Einführung der Karten zu den Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräten der Mineralböden. Der mittlere Kohlenstoffvorrat der Bodenkarte liegt um 2,14 t C ha^{-1} unter dem Mittelwert der BZE-LW (vergl. Tabelle 327 und Kapitel 6.1.2.1.4). Dies führt zu den zunehmend geringeren CO_2-Emissionen in der Submission 2023 in Abhängigkeit von der absoluten Flächenzunahme in den Übergangskategorien zu Ackerland (s. Tabelle 399)
- Regionalisierungseffekte durch Einführung der Bodenkarten

Tabelle 398: 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	2020
4.B	Cropland	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	12.593,81
		2023	13.518,13	13.535,53	13.552,90	13.199,65	12.943,26	12.735,88	12.706,09	12.676,35	12.646,63	12.616,91	12.587,20
		Diff. absolut	-71,04	-67,91	-64,78	-37,00	-20,82	-12,44	-11,32	-10,16	-8,98	-7,80	-6,61
		in %	-0,53%	-0,50%	-0,48%	-0,28%	-0,16%	-0,10%	-0,09%	-0,08%	-0,07%	-0,06%	-0,05%

Tabelle 399: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Ackerland der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr		THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4.B	Cropland	CO_2	2022	13.762,4	13.942,4	13.723,4	15.879,7	15.182,3	16.777,7	16.876,4	16.755,9	16.945,3	16.748,9	16.656,0
			2023	14.722,3	14.565,0	14.208,6	15.571,8	14.743,6	15.242,9	15.609,2	15.453,8	15.384,2	15.388,2	15.238,3
			Differenz	960,0	622,6	485,2	-307,9	-438,6	-1.534,8	-1.267,2	-1.302,1	-1.561,1	-1.360,7	-1.417,8
			in %	7,0%	4,5%	3,5%	-1,9%	-2,9%	-9,1%	-7,5%	-7,8%	-9,2%	-8,1%	-8,5%
		CH_4	2022	163,2	151,0	139,1	144,6	147,5	155,1	156,0	155,4	152,2	147,6	140,9
			2023	109,5	101,4	93,3	96,8	99,7	103,5	106,4	107,1	105,4	101,7	95,4
			Differenz	-53,8	-49,6	-45,8	-47,8	-47,8	-51,6	-49,7	-48,2	-46,9	-45,9	-45,5
			in %	-32,9%	-32,8%	-32,9%	-33,1%	-32,4%	-33,3%	-31,8%	-31,0%	-30,8%	-31,1%	-32,3%
		N_2O	2022	207,9	203,9	202,2	339,0	373,0	520,0	528,8	538,8	549,6	561,4	574,1
			2023	208,3	203,2	199,9	283,5	290,9	372,3	377,7	383,8	390,5	397,9	406,0
			Differenz	0,5	-0,7	-2,3	-55,6	-82,1	-147,7	-151,1	-155,0	-159,1	-163,6	-168,2
			in %	0,2%	-0,4%	-1,1%	-16,4%	-22,0%	-28,4%	-28,6%	-28,8%	-29,0%	-29,1%	-29,3%

6.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.B)

Über die in Kapitel 6.1.2.1.9 angeführten geplanten, überwiegend mittelfristigen Maßnahmen hinaus, sind derzeit keine weiteren spezifischen Maßnahmen zur Verbesserung der Methodik im Bereich Ackerland 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**4 C, Grassland**		**CO_2**	29.121,2	2,3 %	25.045,9	3,3 %	-14,0 %
-/-/2	**4 C, Grassland**		**CH_4**	**841,6**	**0,1 %**	**919,3**	**0,1 %**	**9,2 %**
-/-	4 C, Grassland		N_2O	62,2	0,0 %	36,7	0,0 %	-41,0 %

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 Emissionshöhesowie für CH_4-Emissionen nach der Approach-2-Analyse.

Im Jahre 2021 betrugen die anthropogen bedingten THG-Nettoemissionen aus dem *Grünland* nach IPCC AR5 26.001,9 kt CO_2-Eq. Durch die Entwässerung organischer Grünlandböden wurden nach IPCC AR5 27.236,0 kt CO_2, 919,3 kt CO_2-Eq. Methan sowie 32,5 kt CO_2-Eq. Lachgas freigesetzt. Die Mineralböden (-4.591,8 kt CO_2) fungieren im Grünlandsektor als Kohlenstoffsenke.

Diese Emissionen bilden die Summe aus den Unterkategorien *Grünland im engeren Sinne (i.e.S), Gehölze* und *Hecken*, die sich bezüglich ihrer Emissionen sowohl quantitativ, wie auch qualitativ deutlich unterscheiden. So verdeutlichen Tabelle 400 und die Abbildung 75 und Abbildung 76, dass *Grünland i.e.S* eine deutliche CO_2-Quelle ist, deren absolute Größe von 28.153,4 kt CO_2-Eq. von den Emissionen aus den organischen Böden dominiert wird (27.754,1 kt CO_2-Eq. ≙ 98,9 %), wobei der Anteil der CO_2-Emissionen (97,1 %) den des Methan (2,9 %) bei weitem übertrifft. Während die Biomasse ebenfalls als Quelle fungiert und einen Anteil von 13,7% an den Brutto-Emissionen in Höhe von 32.327 kt CO_2-Eq. beiträgt, stellen die Mineralböden unter Grünland i.e.S. eine anhaltende Senke für Kohlenstoff dar (Tabelle 400). Sie reduzieren die Bruttoemissionen der Unterkategorie Grünland i.e.S. um 12,9 %.

Tabelle 400: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus dem Grünland 2021, unterschieden nach Unterkategorien. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Grünland i.e.S. Emissionen 2021						
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]		**28.055,6**	13.325,7	36.503,2	52,50	30,11
Mineralboden	**CO_2** [2]	**-4.173,4**	-4.096,4	-4.691,4	1,85	12,41
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,58**	0,26	1,36	54,81	136,52
	N_2O_{direkt} [3]	**2,56**	1,70	5,00	33,75	95,45
Organischer Boden	**CO_2** [2]	**26.936,2**	6.596,2	36.430,6	75,51	35,25
	N_2O [5]	**IE**	IE	IE	IE	IE
	CH_4 [6]	**916,0**	447,24	1.304,56	51,17	377,68
Biomasse	**CO_2** [2]	**4.410,9**	2.569,3	6.282,1	41,75	42,42
Tote organische Substanz	**CO_2** [2]	**60,49**	55,56	65,42	8,15	8,15

Gehölze Emissionen 2021						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Gehölze$_{total}$ [7]		**-2.185,8**	-1.637,7	-2.735,4	24,95	25,35
Mineralboden	**CO_2** [2]	**-420,10**	-408,77	-450,88	2,70	7,33
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,18**	0,06	0,48	64,70	161,24
	N_2O_{direkt} [3]	**0,81**	0,48	1,74	40,87	115,70
Organischer Boden	**CO_2** [2]	**286,2**	247,7	330,7	13,47	15,55
	N_2O [3]	**31,07**	7,7	53,9	75,14	73,59
	CH_4 [6]	**3,2**	1,82	4,16	42,76	65,90
Biomasse	**CO_2** [2]	**-2.104,8**	-1.461,6	-2.758,0	30,56	31,03
Tote organische Substanz	**CO_2** [2]	**17,62**	15,48	19,75	12,11	12,11

Hecken Emissionen 2021						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Hecken$_{total}$ [7]		**34,3**	29,1	40,1	15,55	16,21
Mineralboden	**CO_2** [2]	**-2,27**	-1,96	-2,64	13,83	16,26
	$N_2O_{indirekt}$ [4]	**0,00**	0,00	0,01	93,24	210,16
	N_2O_{direkt} [3]	**0,01**	0,00	0,02	66,79	150,08
Organischer Boden	**CO_2** [2]	**13,58**	10,77	16,83	20,72	23,96
	N_2O [3]	**1,48**	-0,25	3,16	116,61	114,19
	CH_4 [6]	**0,14**	0,05	0,29	64,67	99,69
Biomasse	**CO_2** [2]	**20,6**	15,7	25,7	24,02	24,30
Tote organische Substanz	**CO_2** [2]	**0,76**	0,35	1,16	54,05	54,05

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 2021 Emissionen auf, die um -2,7 % gegenüber dem Basisjahr 1990 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 323 % 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 und 2021 zugrunde (vergl. Kapitel 6.3). Dies gilt insbesondere auch für die Unterkategorie Gehölze.

Abbildung 75: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2021, dargestellt nach Unterkategorien

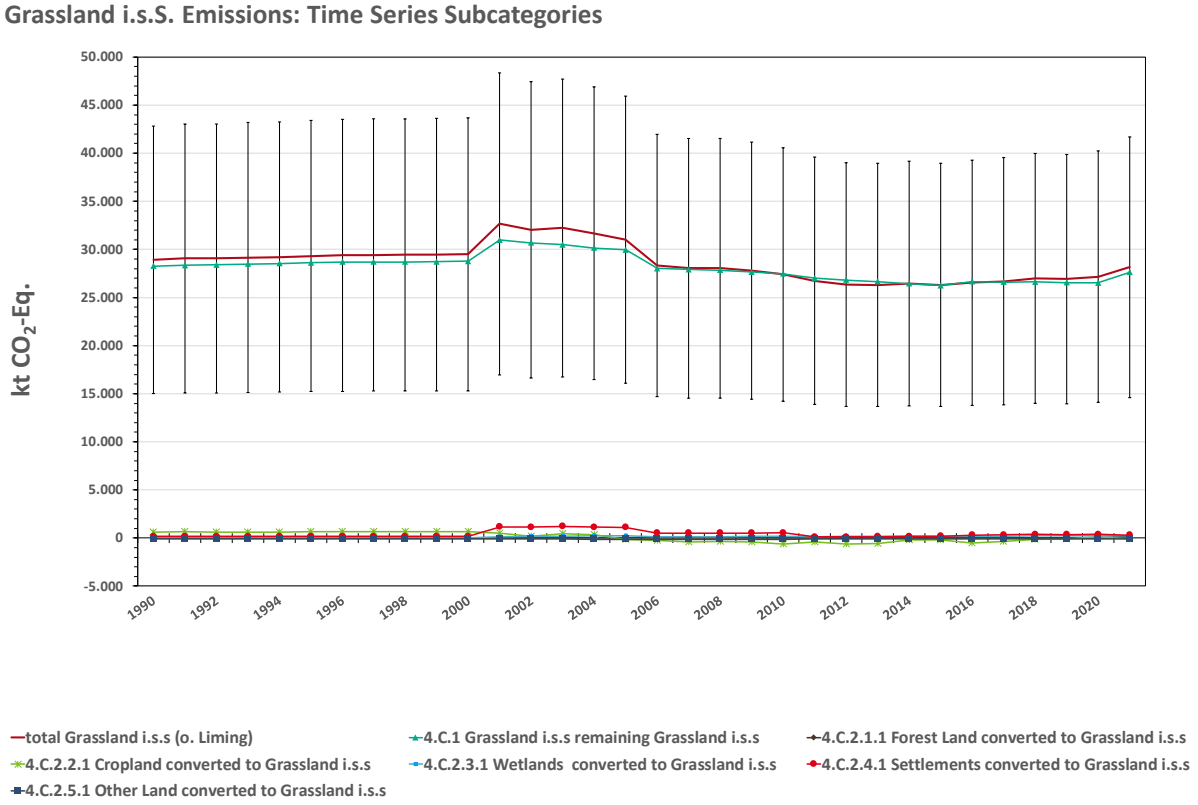
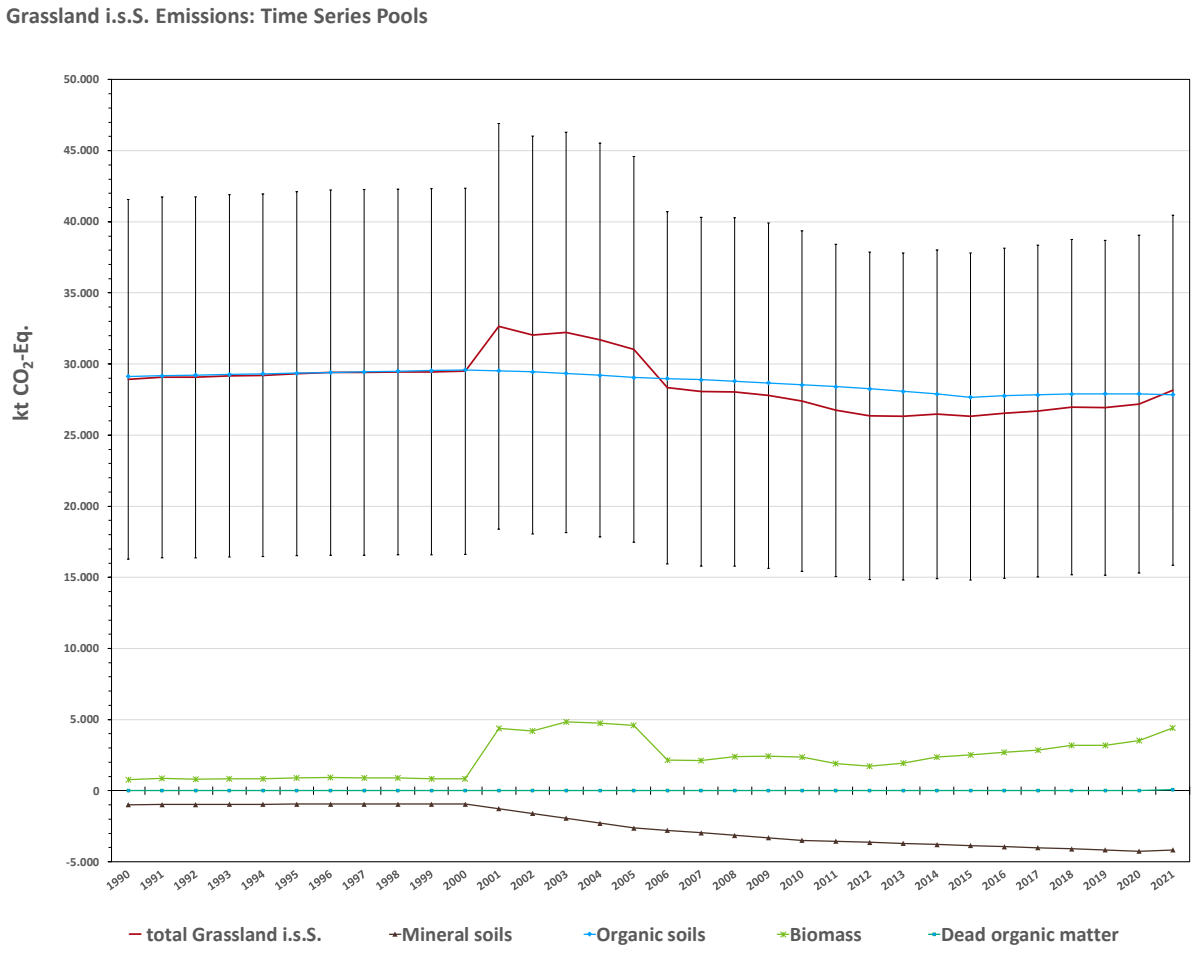


Abbildung 76: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. 1990-2021, dargestellt nach Pools



In der Subkategorie *Gehölze* werden die Nettoemissionen vom Pool Biomasse dominiert. Dieser fungierte 2021 mit -2.104,8 kt CO_2-Eq. als Senke, genau wie der Pool Mineralböden (-420.1 kt CO_2-Eq.) . Diese überkompensieren die positiven Emissionen aus den organischen Böden (320.5 kt CO_2-Eq.), sodass die Unterkategorie *Gehölze* 2021 als Nettokohlenstoffsenke fungiert (-2.185,8 kt CO_2-Eq.; Tabelle 400 sowie Abbildung 77 und Abbildung 78).

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen in Abbildung 77 und Abbildung 78 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 77: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen und Hecken von 1990–2021, dargestellt nach Unterkategorien

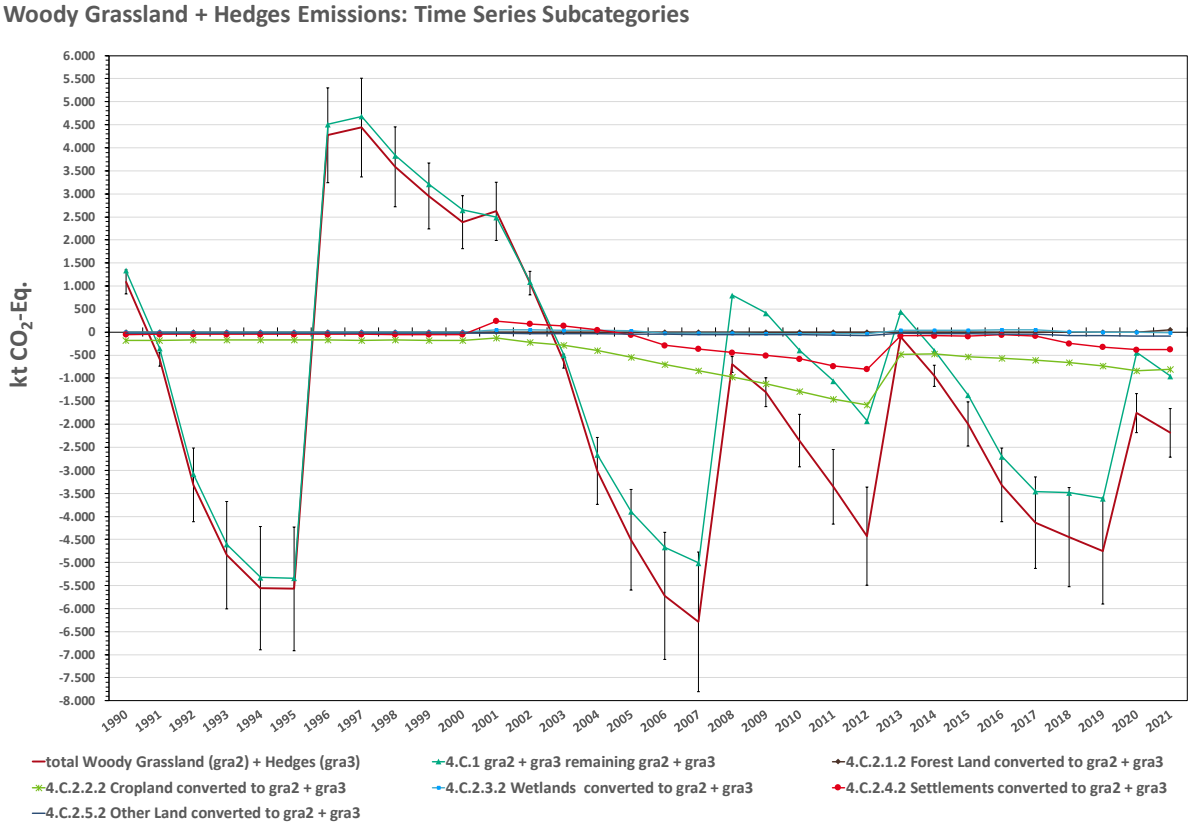
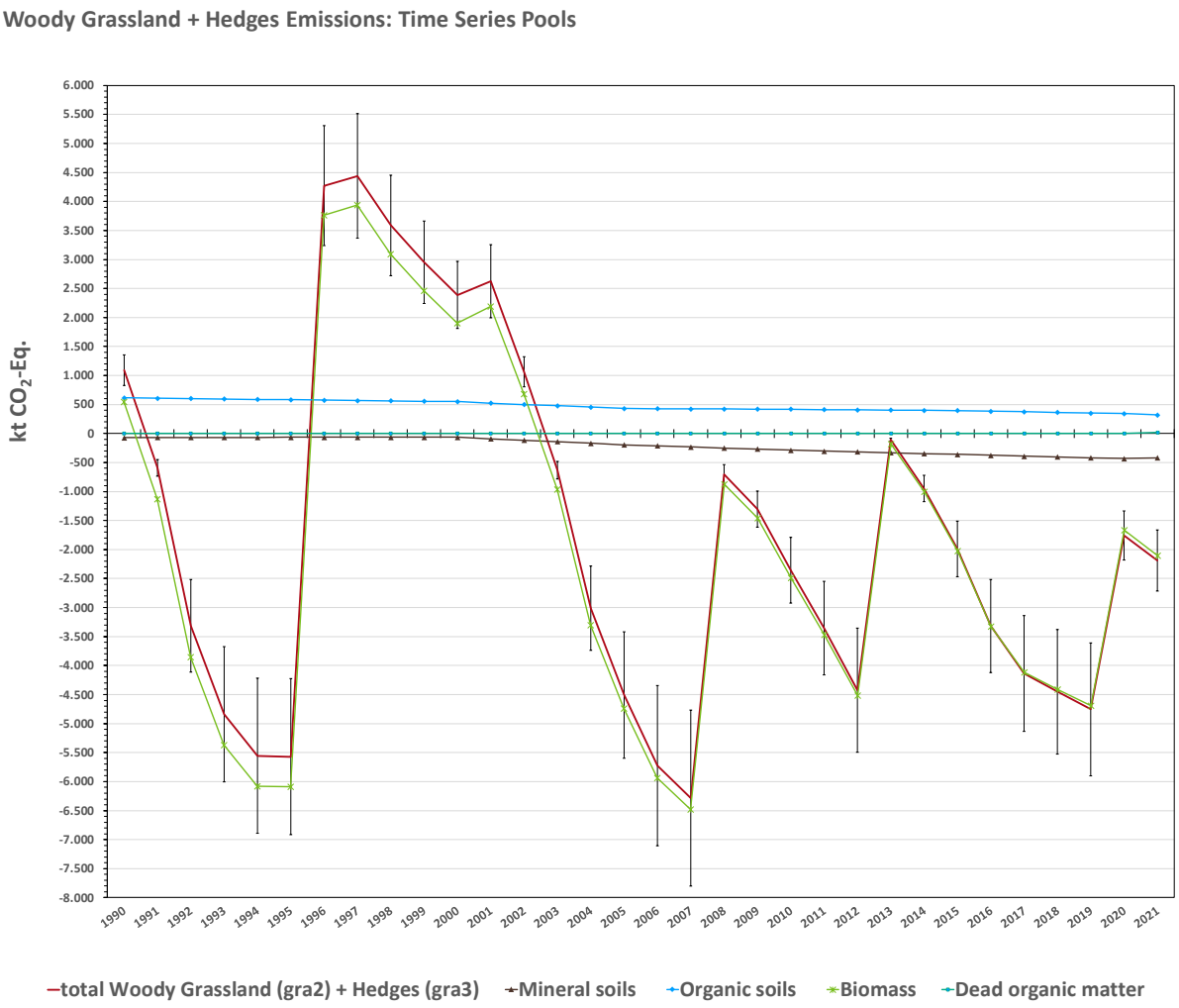


Abbildung 78: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen und Hecken von 1990-2021, dargestellt nach Pools



Die Subkategorie *Hecken* trug im Jahr 2021 mit Nettoemissionen von 34,3 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 nur wenig zu den Nettoemissionen aus der Landnutzungskategorie *Grünland* bei (0,1 %). Die Emissionen in der Kategorie *Hecken* wird getragen von den auf anhaltend hohem Niveau emittierenden organischen Böden (2021: 15,2 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 (Tabelle 400)); der Verlauf der Nettoemissionskurve in der Zeitreihe wird jedoch geprägt von den extrem veränderlichen Emissionen aus der Biomasse, die sehr stark von der Altersverteilung und den Umtriebszeiten abhängen. Bei einem Mittelwert von -0,033 kt CO_2-Eq. über den gesamten Berichtszeitraum, weisen sie einen enormen Range auf (-9.2 kt CO_2-Eq. bis 20,6 kt CO_2-Eq.).

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, 2006a),
- „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 345 in Kapitel 6.3.2.1)

- krautige Pflanzen (Subkategorie Grünland i.e.S.)
- mehrjährige Gehölzpflanzen in Hecken und Feldgehölzen (Subkategorie *Gehölze* und *Hecken*)

Zur Bestimmung der THG-Emissionen aus der pflanzlichen Biomasse mehrjähriger Hecken- und Feldgehölzpflanzen in den Subkategorien *Gehölze* und *Hecken* werden 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* und *Hecken* 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 Subkategorien *Gehölze* und *Hecken* 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 kann ebenfalls mit den Ergebnissen der deutschen Bodendauerbeobachtungsflächen belegt werden, allerdings nicht mit der gleichen Intensität wie beim Ackerland (vergl. Kapitel 6.5.2.3.2). Es liegen nur Ergebnisse für 42 Standorte aus Niedersachsen (Höper and Schäfer (2012), Fortmann et al. (2012) und BLfU (2011)) vor. Da dies die flächenmäßig größten Bundesländer Deutschlands sind, mit dem absolut größten Anteil an Grünländern und aufgrund ihrer Lage auch große klimatische Unterschiede aufweisen, kann unterstellt werden, dass die Ergebnisse für Deutschland im Mittel repräsentativ sind. 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 Niedersachsen zeigte der Großteil der Untersuchungsflächen (72 %) während des Untersuchungszeitraumes keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Mineralbodenkohlenstoffgehalte; je 14 % zeigten eine signifikante Zu- bzw. Abnahme (Fortmann et al. (2012)). In Bayern ließen sich, über 25 Jahre (4 Beprobungstermine je Fläche) hinweg, in der Summe keine signifikanten Veränderungen der Kohlenstoffgehalte unter Dauergrünland nachweisen (BLfU (2011)).

Analog zum Ackerland wurde, ermutigt durch das ERT, zu einer weiteren Überprüfung der These, dass der Bodenkohlenstoffhaushalt in Mineralböden Deutschlands unter Dauergrünland (Verbleibkategorie) in etwa im Gleichgewicht ist, die Tier 1 - Methodik der 2006 IPCC Guidelines angewendet. Für den Tier 1 - Ansatz wurde folgendes unterstellt:

a. Die Ergebnisse der BZE-LW bezüglich des Ist-Zustandes des Kohlenstoffvorrates mineralischer Grünlandböden Deutschlands (JACOBS et al. 2018) zur Ermittlung des Landnutzungsfaktors (F_{LU})

b. Der Großteil des Grünlandes in Deutschland wird intensiv bewirtschaftet und Verbesserungsmaßnahmen werden flächendeckend umgesetzt (in der Regel wird mehr organischer Dünger ausgebracht als auf Ackerland)

c. Die Klassifizierung des Grünlandes basiert auf einer Vorgabe der deutschen amtlichen Statistik, welche Dauergrünland nach der Nutzungsart unterscheidet (Statistisches Bundesamt, 2022c):
   - 4,75 % der Grünlandfläche sind ertragsarmes Grünland (F_{MG} nominally managed)
   - ca. 55 % der Fläche ist normal genutztes Grünland, das in Deutschland immer mindestens einer Verbesserungsmaßnahme unterzogen wird (F_{MG} improved grassland, F_I medium)
   - ca. 40 % als intensiv genutztes Grünland (bis zu 6 Mahden)(F_{MG} improved grassland, F_I high)

Tabelle 401 zeigt die Ergebnisse der Anwendung der Tier1 - Methodik. Es zeigt sich ein deutlicher Anstieg des organischen Kohlenstoffvorrates in den Mineralböden unter Grünland. Selbst wenn der höchste Inputfaktor (F_I hoch) negiert oder alle Klassen eine Stufe tiefer gesetzt würden: Das Ergebnis wäre immer noch eine Zunahme des Bodenkohlenstoffvorrates in den Mineralböden unter Grünland. Somit unterstreicht das Ergebnis dieser Abschätzung, dass die Annahme, der Kohlenstoffhaushalt von Mineralböden unter Grünländern in Deutschland steht in etwa im Gleichgewicht, konservativ ist.

Tabelle 401: Berechnungsschritte und Ergebnisse der Anwendung der Tier 1-Methode der 2006 IPCC Guidelines auf die Verbleibkategorie mineralischer Grünlandböden Deutschlands

Factor	Level	IPCC-Default	share [%]	FI	IPCC-Default	area [ha]	C-stock [kt]	∑ [kt]
FMG	Nominally	1	4,75			173.716	15.532	
FMG	Improved	1,14	55,08	Medium	1	2.013.189	205.199	
FMG	Improved	1,14	40,17	High	1,1	1.468.394	166.133	386.864
2020_NIR_total						3.655.299		326.820
Difference [kt C a^{-20}								60.044
Difference [kt C a^{-1}								3.002

In der CRF-Tabelle 4.C.1 sind die Felder "Kohlenstoffvorratsänderung in Mineralböden" der Verbleibkategorien von *Grünland i.e.S.*, *Gehölzen* und *Hecken* 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* und *Hecken* ist in Kapitel 6.1.2.1, die Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten auch in Tabelle Tabelle 403 und Tabelle 404 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 Subkategorien *Gehölze* und *Hecken*. 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* und *Hecken*. 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 Unterkategorien *Gehölze* und *Hecken* werden in der CRF-Tabelle 4(II).C präsentiert.

6.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.C)

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten der Landnutzungskategorie *Grünland* sind normalverteilt, mit Werten für die Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls zwischen 0,05-196,0 %. Auch hier ist die Unsicherheit abhängig von der Stichprobengröße; je kleiner die Fläche, desto größer die Unsicherheit. Flächengewichtet beträgt die Gesamtunsicherheit der Aktivitätsdaten in der Grünlandkategorie 0,069 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie *Grünland* beträgt 47,0 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 27,1 % [97,5 % -Perzentil], die für die Subkategorien *Grünland i.e.S*. 52,5 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 30,1 % [97,5 % -Perzentil] , *Gehölze* 25,0 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 25,4 % [97,5 % -Perzentil] und für Hecken 15,6 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 16,2% [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). Die Beiträge der Subkategorien *Gehölze* und *Hecken* zur Unsicherheit des Gesamtinventars sind marginal.

In Tabelle 402 bis Tabelle 407 sind die Unsicherheiten bezüglich der impliziten Emissionsfaktoren für die Unterkategorien Grünland i.e.S., Gehölze und Hecken dargestellt.

Tabelle 402: Emissionsfaktoren [t C ha-1 a-1] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2021 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		-0,0635	8,48	11,83
$Acker_{annuell}$		0,7114	2,15	14,83
Hopfen		0,7903	45,29	46,29
Weinbau		1,3305	12,41	16,31
Obstbau		0,4862	9,36	13,03
Kurzumtriebsplantagen		0,6247	39,51	40,66
Baumschulen		1,0884	18,57	20,91
Weihnachtsbaumkulturen	**$Grünland_{i.e.S}$**	1,0604	18,61	20,94
Gehölze		0,0448	2,96	12,25
Hecken		0,0027	14,52	18,76
Terr. Feuchtgebiete		-0,7731	17,52	18,98
Gewässer		0,0000	2,52	16,99
Torfabbau		0,0000	0,00	0,00
Siedlungen		1,1574	2,52	9,49
Sonstige Fläche		3,1895	17,74	22,48
Biomasse [2)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald		-34,4819	24,63	24,63
$Acker_{annuell}$		-0,0017	16,27	16,27
Hopfen		-2,6219	0,00	0,00
Weinbau		-0,0362	20,22	20,22
Obstbau		-0,2547	14,85	14,85
Kurzumtriebsplantagen		-4,6799	39,23	39,68
Baumschulen		-0,7834	26,89	26,89
Weihnachtsbaumkulturen	**$Grünland_{i.e.S}$**	-0,8265	32,16	32,16
Gehölze		-5,6229	51,68	52,48
Hecken		-56,4371	53,34	54,12
Terr. Feuchtgebiete		-1,3190	42,72	44,00
Gewässer		0,0000	30,25	30,25
Torfabbau		0,0425	37,69	37,69
Siedlungen		-1,4062	45,93	47,39
Sonstige Fläche		0,0656	33,14	33,14
Tote organische Substanz [2)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Wald	$Grünland_{i.e.S}$	-20,6215	8,15	8,15

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 403: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Grünland i. e. S. im im Jahr 2021, nach IPCC AR5

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden [1)]		[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Grünland i. e. S.	CO_2	28,6810	89,18	41,62
Grünland i. e. S.	CH_4	0,9753	59,89	442,02
Grünland i. e. S.	N_2O	1,8829	93,48	382,61

1) Berechnung jährlich; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 404: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2021 aus Gehölzflächen

Gehölze		Emissionsfaktor	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		obere	untere
Mineralboden CO_2-C [1)]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Gehölze	0,2342	12,99	15,38
$Acker_{annuell}$		0,8993	4,11	15,24
Hopfen		0,0000	99,9	196,30
Weinbau		1,2749	16,67	19,75
Obstbau		0,4625	19,07	21,11
Kurzumtriebsplantagen		0,5494	80,17	80,74
Baumschulen		0,9894	32,18	33,58
Weihnachtsbaumkulturen		0,8998	30,66	32,12
Grünland i. e. S.		0,1320	2,67	12,18
Hecken		0,0129	29,27	31,59
Terr. Feuchtgebiete		-0,8727	31,90	32,73
Gewässer		0,0000	2,52	16,99
Torfabbau		0,0000	0,00	0,00
Siedlungen		1,1015	4,25	10,09
Sonstige Flächen		3,7423	22,59	26,48

Gehölze Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$	Emissionsfaktor	Schranken obere	 untere
Mineralboden N_2O_{direkt} 3)		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
Grünland i. e. S.		0,0019	70,07	200,67
Hecken	**Gehölze**	0,0000	75,89	61,99
Terr. Feuchtgebiete		0,8572	78,66	203,42
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ 3)		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Grünland i. e. S.		0,0004	99,9	287,21
Hecken	**Gehölze**	0,0000	99,9	288,69
Terr. Feuchtgebiete		0,1929	99,9	289,14
Biomasse 2)		[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[%]
Wald		-38,6065	42,05	42,64
Acker$_{annuell}$		3,2033	51,71	52,51
Hopfen		-3,1044	99,9	203,03
Weinbau		-0,0173	53,24	54,00
Obstbau		2,8988	47,93	48,57
Kurzumtriebsplantagen		1,7417	84,74	84,94
Baumschulen		6,4327	52,16	52,66
Weihnachtsbaumkulturen	**Gehölze**	6,0326	52,24	52,81
Grünland i. e. S.		3,2636	51,67	52,47
Hecken		-55,3343	61,23	61,99
Terr. Feuchtgebiete		4,6817	47,37	48,01
Gewässer		0,0000	54,73	55,58
Torfabbau		8,3769	92,10	92,61
Siedlungen		2,0432	39,95	40,70
Sonstige Flächen		7,1576	58,10	58,91
Tote organische Substanz 2)		[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]	[%]
Wald	**Gehölze**	-20,6215	12,11	12,11

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 405: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Gehölze im Jahr 2021

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken untere	 obere
Organischer Boden[115]		[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Gehölze	CO_2	-80,6895	20,77	24,22
Gehölze	CH_4	-15,5338	68,74	106,19
Gehölze	N_2O	0,0076	99,9	117,86

[115] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 406: Emissionsfaktoren [t C ha^{-1} a^{-1}] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2021 aus Hecken

Gehölze Landnutzung$_{vor}$ Mineralboden CO_2-C [1]	Landnutzung$_{nach}$	Emissionsfaktor [t C ha^{-1} a^{-1}]	Schranken obere [%]	 untere [%]
Wald		-0,1940	62,23	62,78
Acker$_{annuell}$		0,8225	9,71	17,59
Hopfen		0,0000	4,97	10,81
Weinbau		1,4010	99,9	139,13
Obstbau		0,5885	99,9	126,34
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	4,97	10,81
Baumschulen		1,4431	49,25	50,18
Weihnachtsbaumkulturen	Hecken	1,5292	74,25	74,87
Grünland i. e. S.		0,1819	15,41	19,46
Gehölze		0,2346	50,64	52,01
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	7,58	10,52
Gewässer		0,0000	2,52	16,99
Torfabbau		0,0000	0,00	0,00
Siedlungen		1,2113	39,23	40,29
Sonstige Flächen		0,0000	11,40	17,90
Mineralboden N_2O_{direkt} [3]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**
Grünland i. e. S.		0,0063	71,69	201,24
Gehölze	Hecken	0,0446	86,41	206,94
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	72,30	201,04
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$ [3]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Grünland i. e. S.		0,0014	99,9	287,61
Gehölze	Hecken	0,0100	99,9	291,63
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	99,9	287,47
Biomasse [2]		**[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]**	**[%]**
Wald		-38,6065	71,58	71,92
Acker$_{annuell}$		-4,2857	52,44	53,23
Hopfen		0,0000	52,14	52,95
Weinbau		-8,1875	99,9	147,93
Obstbau		-2,6189	99,9	133,72
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	27,89	28,49
Baumschulen		-10,3061	64,21	64,63
Weihnachtsbaumkulturen	Hecken	-10,6613	86,21	86,55
Grünland i. e. S.		-3,3242	53,54	54,32
Gehölze		-25,2845	71,62	72,28
Terr. Feuchtgebiete		0,0000	41,70	42,42
Gewässer		0,0000	54,73	55,58
Torfabbau		0,0000	54,73	55,58
Siedlungen		-18,0099	54,81	55,36
Sonstige Flächen		0,0000	54,73	55,58
Tote organische Substanz [2]		**[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} 1 a^{-1}]**	**[%]**
Wald	Hecken	-20,6215	54,05	54,05

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 407: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Hecken im Jahr 2021

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
Organischer Boden[116]		[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	untere [%]	obere [%]
Hecken	CO_2	10,5931	21,44	24,80
Hecken	CH_4	0,1001	68,95	106,32
Hecken	N_2O	1,2948	99,9	117,98

Die Berechnungen sind sowohl für *Grünland i.e.S, Gehölze* und *Hecken* für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2021 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.

Die folgenden Tabellen (Tabelle 408, Tabelle 409, Tabelle 410) zeigen einen innereuropäischen Vergleich impliziter Emissionsfaktoren (IEF) für unterschiedliche Pools. Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus den Submissionen 2022 des Klimasekretariats verwendet (UNFCCC NIR Submission 2022: Inventurjahr 2020, UNFCCC, 2022). Werte für Deutschland 2021 stammen aus der aktuellen Submission 2023.

Der Vergleich ist von vornherein problematisch, da die zu vergleichenden Werte methodisch z.T auf sehr unterschiedliche Art erhoben werden und vorallem auch die Grenzen der Systeme mitunter deutlich divergieren. Bei diesem Vergleich bedeutet Grünland in Deutschland immer die Summe aus den Subkategorien *Grünland i.e.S., Gehölze* und *Hecken*. Diese Systemgrenzen werden in anderen Staaten unterschiedlich definiert, so dass die mittleren Emissionsfaktoren zwischen den Staaten oft nicht direkt vergleichbar sind. Angesichts dessen und unter Berücksichtigung der großen Unsicherheiten und Streuung der berichteten Werte (siehe Kapitel 6.6.3), zeigt der Vergleich für keinen der verglichenen Pools implizite Emissionsfaktoren (IEF), die einen eindeutigen Ausreißer darstellen. Die EF finden meist eine Entsprechung in absoluter Größe und Tendenz, mit denen diverser mitteleuropäischen Nachbarländer.

[116] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 408: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-1,238	-7,219	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-0,084	-0,110	-0,363	-0,097	NA	NA	NA
Frankreich	0,044	-0,105	-1,320	0,050	NA	0,470	NA
Großbritannien	-0,001	-0,109	-1,578	-0,071	NO	0,042	NO
Niederlande	0,009	0,062	-3,214	0,164	0,395	0,584	1,164
Österreich	NA	-0,597	-1,351	-0,047	NO	NO	NO
Polen	NA	0,184	NO	0,220	NO,IE	NO,IE	NO
Schweiz	0,019	-0,699	-3,485	-0,079	0,577	0,144	0,535
Tschechische Republik	NO	0,047	-3,805	0,125	0,550	NO	NO
Deutschland 2020	-0,018	0,070	NO	0,135	0,369	-0,652	1,688
Deutschland 2021	-0,092	-0,026	NO	0,051	-0,571	-0,794	1,742

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 409: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,113	-0,658	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO,NA	-0,014	-0,296	NA	NA	NA	NA
Frankreich	NA	-0,022	-0,153	NA	NA	NA	NA
Großbritannien	NA	-0,014	-0,524	IE	NO	IE,NA	NO
Niederlande	NA	-0,069	-1,349	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,361	-0,858	NO	NO	NO	NO
Polen	NA	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,198	-0,873	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	-0,006	-0,385	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2021	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 410: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,102	1,061	-1,033	1,529	-0,976	0,907	NO
Dänemark	NO,IE,NA	0,011	0,241	IE	-1,067	NA	NA
Frankreich	0,000	0,910	0,036	1,011	NO	1,892	NA
Großbritannien	0,130	0,690	-1,054	0,679	NO,IE	2,753	NO
Niederlande	0,004	0,715	0,533	0,743	0,111	0,585	3,286
Österreich	0,002	0,923	0,822	0,997	NO	NO	NO
Polen	-0,001	0,726	NO	0,789	NO	NO	NO
Schweiz	-0,063	0,369	-1,205	0,346	1,832	2,024	1,590
Tschechische Republik	0,091	0,441	-0,076	0,470	NO	0,349	NO
Deutschland 2020	0,008	1,354	NO	1,271	0,023	2,247	1,377
Deutschland 2021	0,006	0,775	NO	0,724	-0,795	1,114	3,314

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 411: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-1,891	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-5,671	-9,652	-9,652	IE	NA	NA	NA
Frankreich	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-0,588	-2,291	-2,291	NO	NO	NO	NO
Niederlande	-4,072	-3,778	-2,618	-3,779	-4,151	-3,904	-3,025
Österreich	-6,402	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-0,250	-0,250	NO	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250
Schweiz	-9,087	-8,879	-7,919	-9,347	-7,779	-1,429	3,772
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	-7,39	-7,80	NO	-7,95	-6,47	-7,18	-6,68
Deutschland 2021	-7,634	-7,930	NO	-8,029	-7,014	-7,234	6,959

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

6.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.C)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2021 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:

- Komplette Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in den Programmiersprachen R und C++
- Einführung der neuen Landnutzungssubkategorie *Hecken*

- Einführung neuer regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie *Gebäude und Freiflächen* der Landnutzungskategorie *Siedlungen* (s. Kapitel 6.1.2.1.6) und der Landnutzungskategorie *Sonstiges Land* (s. Kapitel 6.1.2.1.7)
- Implementierung flächendeckender, hochauflösender Karten regionalisierter Mineralbodenkohlenstoff- bzw. -stickstoffvorräte für die Landnutzungskategorien *Ackerland*$_{annuell}$, *Grünland* und *Wald* in die Methodik zur Erfassung der THG-Emissionen aus Mineralböden (s. Kapitel 6.1.2.1ff)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Grünland in Tabelle 412 (Flächen) und Tabelle 413 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen. Diese bedingen sich in der Neuprogrammierung des Rechenmodells sowie der Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten, durch Einarbeitung, der neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres. 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 bezüglich der CO_2- und N_2O-Emissionen sind sehr gering (Tabelle 413). Durch die Überlagerung mehrerer entgegengerichteter Prozesse, werden die starken Unterschiede zwischen den Submissionen bezüglich der Biomasse und der Mineralböden in der Summe nahezu ausgeglichen. Die Ursachen, deren Auswirkungen sich in der zusammenfassenden Darstellung multipel überlagern, sind z.B.:

- kleinere Änderungen in den Flächen (Tabelle 412)
- unterschiedliche Wasserstände in den organischen Böden (CH_4-Emissionen (s. Tabelle 413))
- insbesondere aber die Einführung der Karten zu den Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräten der Mineralböden. Der mittlere Kohlenstoffvorrat der Bodenkarte liegt um 1,64 t C ha^{-1} unter dem gemessenen Mittelwert (vergl. Tabelle 328) und Kapitel 6.1.2.1.5), was zu einer zunehmenden Abnahme der Senkenfunktion in der Submission 2023 führt, in Abhängigkeit von der absoluten Flächenzunahme in den Übergangskategorien zu Ackerland
- Regionalisierungseffekte durch Einführung der Bodenkarten

Tabelle 412: 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	2020
4.C	Grasland	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	6.771,03
		2023	6.756,74	6.676,96	6.597,29	6.712,63	6.781,40	6.764,55	6.761,34	6.758,11	6.754,89	6.751,67	6.748,46
		Differenz	-49,50	-50,30	-50,98	-51,51	-46,40	-34,42	-32,06	-29,72	-27,35	-24,95	-22,56
		in %	-0,7%	-0,8%	-0,8%	-0,8%	-0,7%	-0,5%	-0,5%	-0,4%	-0,4%	-0,4%	-0,3%

Tabelle 413: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Grünland der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF -Nr		THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4.C	Gras-land	CO_2	2022	26.383,5	27.186,9	27.185,9	25.931,2	18.542,7	18.966,2	19.437,0	19.297,1	18.812,7	18.590,8	18.068,7
			2023	29.121,2	22.855,4	30.975,8	25.604,2	24.087,9	23.363,1	22.258,6	21.595,2	21.582,2	21.228,8	24.470,7
			Differenz	2737,72	-4331,54	3789,89	-327,06	5545,18	4396,89	2821,59	2298,10	2769,52	2638,01	6401,91
			in %	10,4%	-15,9%	13,9%	-1,3%	29,9%	23,2%	14,5%	11,9%	14,7%	14,2%	35,4%
		CH_4	2022	977,5	988,1	998,6	1.032,4	1.070,5	1.082,2	1.078,7	1.075,8	1.075,4	1.076,3	1.078,2
			2023	841,6	849,4	857,2	887,6	922,0	934,0	930,2	927,6	927,2	928,4	931,4
			Differenz	-135,88	-138,69	-141,38	-144,80	-148,54	-148,23	-148,53	-148,21	-148,20	-147,94	-146,77
			in %	-13,9%	-14,0%	-14,2%	-14,0%	-13,9%	-13,7%	-13,8%	-13,8%	-13,8%	-13,7%	-13,6%
		N_2O	2022	2.120,61	2.135,09	2.149,54	2.108,11	2.077,30	2.017,31	2.022,07	2.025,61	2.028,25	2.029,90	2.030,10
			2023	2.117,25	2.131,00	2.144,78	2.106,14	2.077,73	2.019,22	2.024,57	2.028,69	2.031,94	2.034,25	2.035,04
			Differenz	-3,36	-4,09	-4,76	-1,97	0,43	1,91	2,50	3,08	3,70	4,35	4,94
			in %	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
		N_2O	2022	59,48	55,6	52,3	70,7	91,6	100,7	102,0	103,5	105,2	107,0	108,9
			2023	62,15	59,0	56,0	45,9	45,3	43,0	42,1	41,2	40,3	39,3	38,3
			Differenz	2,67	3,41	3,69	-24,74	-46,31	-57,64	-59,88	-62,36	-64,92	-67,65	-70,55
			in %	4,5%	6,1%	7,1%	-35,0%	-50,6%	-57,3%	-58,7%	-60,2%	-61,7%	-63,3%	-64,8%

6.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.C)

Über die in Kapitel 6.1.2.1.9 angeführten geplanten, überwiegend mittelfristigen Maßnahmen die Böden betreffend hinaus, sind derzeit keine weiteren spezifischen Maßnahmen zur Verbesserung der Methodik im Bereich Grünland 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	**4 D, Wetlands**		**CO_2**	**3.692,2**	**0,3 %**	**4.713,8**	**0,6 %**	**27,7 %**
L/T	**4 D, Wetlands**		**CH_4**	**5.325,9**	**0,4 %**	**5.498,0**	**0,7 %**	**3,2 %**
-/-	4 D, Wetlands		N_2O	30,2	0,0 %	39,0	0,0 %	29,2 %

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 and CH_4 eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

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 *Natürliche Gewässer, Stehende künstliche Gewässer*, wie z.B. Fischzuchtteiche und Stauseen, *Fließende künstliche Gewässer*, wie Entwässerungsgräben und Kanäle der Wasserwirtschaft, als auch Flächen zum *Torfabbau*, zur Gewinnung von Gartenbautorfen.

Die quantifizierte Flächenzuordnung zu den einzelnen Unterkategorien, sowie Ausführungen über die gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006a) und der 2013 IPCC Wetland

Supplements (IPCC et al., 2014b) und des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2019) zu berichtenden Pools und Treibhausgase aus den Verbleib- und Übergangskategorien, finden sich in Kapitel 6.2.4.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen sowie obere und untere Schranken der 95 % - Konfidenzintervalle für das Jahr 2021 sind in Tabelle 414 und der Verlauf der Emissionen in der Zeit unterschieden nach Kategorien und Unterkategorien in Abbildung 79 und Abbildung 80 dargestellt.

Tabelle 414: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus Feuchtgebieten Deutschlands 2021.

terrestrische Feuchtgebiete						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Terrestrische Feuchtgebiete$_{total}$		**2.903,2**	1.641,6	4.201,7	42,44	47,31
Mineralboden	CO_2	**-29,2**	-25,78	-32,30	10,85	11,69
	$N_2O_{indirekt}$[1)]	**0,04**	0,00	0,14	105,70	260,38
	N_2O_{direkt}	**0,18**	0,06	0,50	66,45	182,32
Organischer Boden	CO_2	**2.169,1**	823,94	3.652,1	62,01	68,37
	N_2O	**32,28**	7,88	97,68	75,60	202,57
	CH_4	**524,94**	197,05	950,30	62,46	81,03
Biomasse	CO_2	**144,7**	143,22	146,16	1,01	1,03
Streu/Totholz	CO_2	**61,2**	54,50	67,84	10,90	10,90
Natürliche Gewässer						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Gewässer$_{total}$		**45,0**	17,58	62,44	56,05	56,05
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)]	**44,81**	19,69	69,94	56,05	56,05
Biomasse	CO_2	NO	NO	NO	NO	NO
Streu/Totholz	CO_2	NO	NO	NO	NO	NO
Torfabbau						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**			**[%]**	
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
Torfabbau$_{total}$		**2.377,5**	1.481,4	3.275,6	36,71	36,71
Mineralboden	CO_2	NO	NO	NO	NO	NO
	N_2O_{direkt}	NO	NO	NO	NO	NO
Organischer Boden	CO_2	**2.328,6**	1.456,0	3.201,3	37,48	37,48
	N_2O	**6,51**	3,26	9,76	49,92	49,92
	CH_4	**2,88**	1,21	5,26	57,83	82,85
Biomasse	CO_2	**37,3**	20,12	54,86	46,03	47,17
Streu/Totholz	CO_2	**2,2**	0,59	3,79	73,0	73,0
künstliche stehende Gewässer						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**	**[%]**			
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
künstliche stehende Gewässer$_{total}$		**4.651,2**	1.705,2	6.391,8	58,94	53,91
Mineralboden	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO
	N_2O_{direkt}	**NO**	NO	NO	NO	NO
	CH_4	**4.648,**	1.702,94	6.389,50	58,97	53,94
Organischer Boden	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO
	N_2O	**NO**	NO	NO	NO	NO
	CH_4	**2,57**	2,57	2,57	0,02	0,02
Biomasse	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO
Streu/Totholz	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO

künstliche fließende Gewässer						
Pool	**THG**	**[kt CO_2-Eq.]**	**[%]**			
		Emission	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**	**2,5 %-Perz.**	**97,5 %-Perz.**
künstliche fließende Gewässer $_{total}$		**274,2**	121,1	414,9	50,54	69,49
Mineralboden	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO
	N_2O_{direkt}	**NO**	NO	NO	NO	NO
	CH_4	**274,16**	135,60	464,67	50,54	69,49
Organischer Boden	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO
	N_2O	**NO**	NO	NO	NO	NO
	CH_4	**NO**	NO	NO	NO	NO
Biomasse	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO
Streu/Totholz	CO_2	**NO**	NO	NO	NO	NO

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 2021 10.251 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 freigesetzt. Tabelle 414 verdeutlicht, dass die Emissionen aus der Landnutzungskategorie *Feuchtgebiete* im Wesentlichen auf die CO_2-Freisetzung aus organischen Böden (46,5 %) und Methanemissionen aus fließenden und stehenden künstlichen Gewässern (45,9 %) zurückzuführen sind. Die CO_2-Freisetzung werden wiederum zu ähnlichen Teilen durch die CO_2-Freisetzung infolge des Torfabbaus (51,8 %) und der Entwässerung terrestrischer organischer Böden (48,2 %) verursacht. Die Freisetzung von Lachgas (0,45 %) ist gemessen an der Summe der Gesamtemissionen gering, genau wie die CO_2-Freisetzung aus der Biomasse (1,9 %). Die Emissionen aus Mineralböden sind negativ und wirken folglich als Senke. Ihr Anteil ist aber sehr gering (- 0,3 %).

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 2021 2.226,1 ± 896,6 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5und waren demnach maßgeblich für die Höhe der Gesamtemissionen aus dem Torfabbau (93,6 %). Die on-site-Emissionen sind mit 87,1 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 demgegenüber gering und werden dominiert vom CO_2 (91,8 %), gefolgt vom Methan (2,4 %) und Lachgas (5,8 %).

Der Verlauf der Zeitreihen in Abbildung 79 und Abbildung 80 verdeutlicht, dass die Gesamtemissionen im Jahr 2021 gegenüber dem Basisjahr zugenommen haben (14,0 %), infolge einer zwischenzeitlich verstärkten Umwidmung von Grünland-, Wald- und Siedlungsflächen. Die Emissionszunahme ist im wesentlichen den Pools organische Böden und Methan aus *Fließenden künstlichen Gewässern* und *Stehenden künstlichen Gewässern* zuzuschreiben (Abbildung 79). Der Trendkurvenverlauf wird durch die Emissionen von Torfabbauflächen, künstlichen Gewässern, den organischen Böden der Unterkategorie *Terrestrische Feuchtgebiete* dominiert. Während erstere die jährlichen Torfproduktionsmengen widerspiegeln und genau wie die Methanemissionen aus den Gewässern über die Jahre eine ähnliche Größenordnung aufweisen, zeigen die Emissionen aus den organischen Böden der Subkategorie *Terrestrische Feuchtgebiete* eine stringente Zunahme (+41,4 %).

Abbildung 79: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Feuchtgebieten von 1990-2021, dargestellt nach Unterkategorien

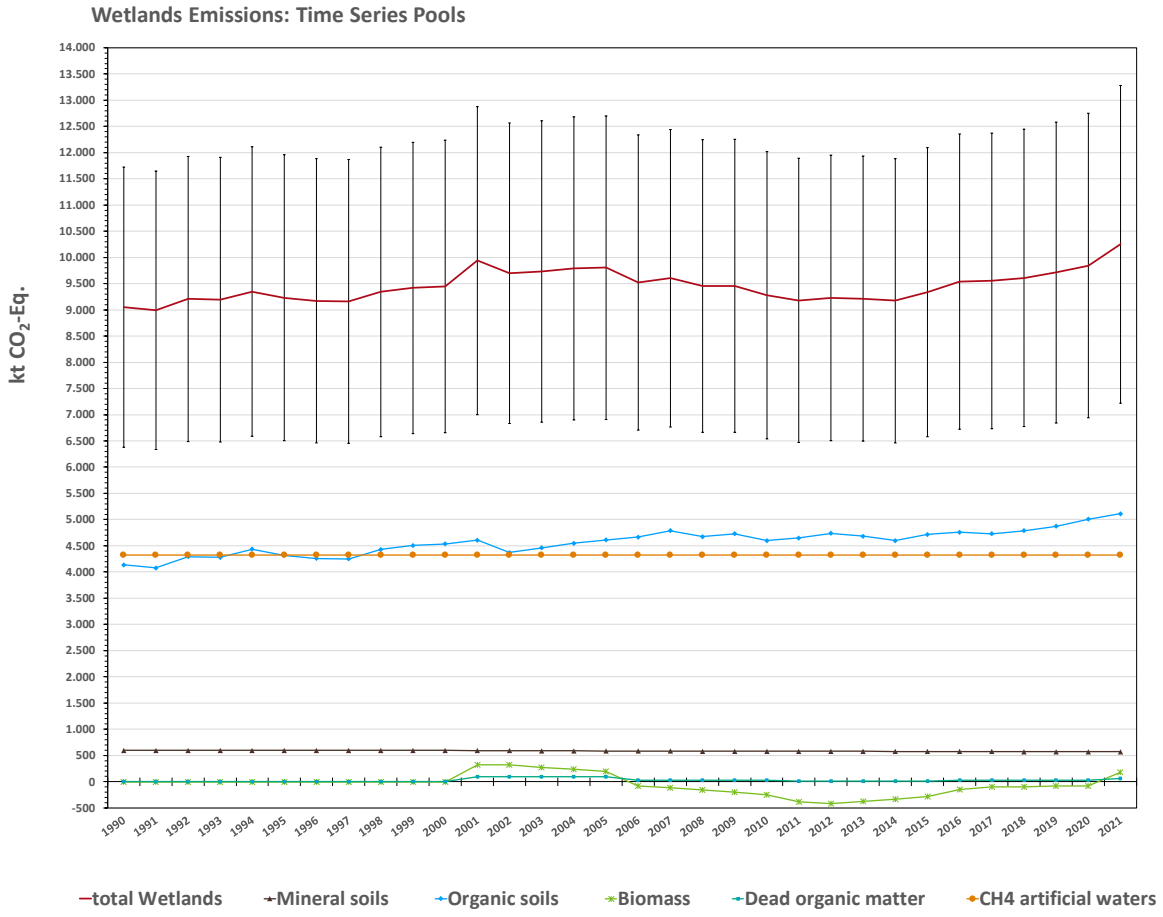
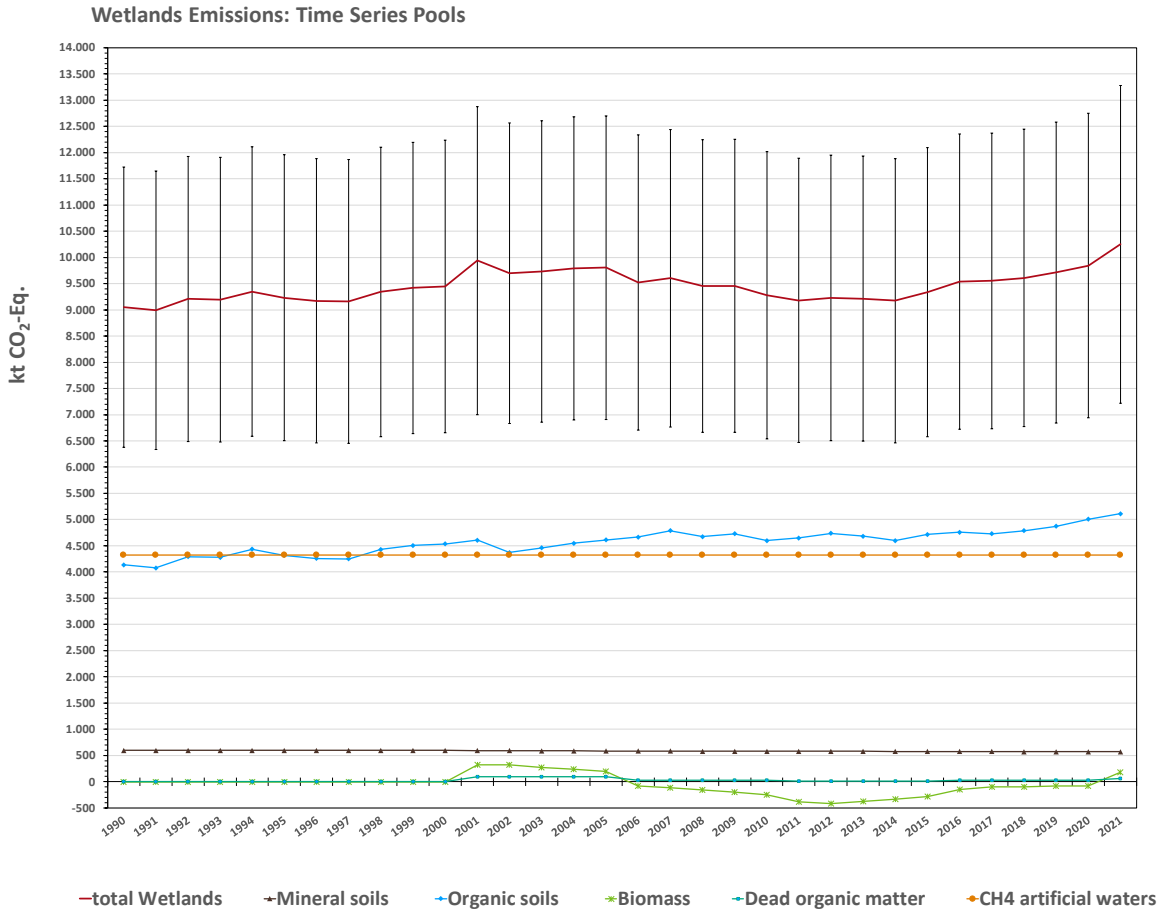


Abbildung 80: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO_2, CH_4 und N_2O) [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus den Feuchtgebieten von 1990-2021, dargestellt nach Pools



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 6.1.2 ff, Kapitel 6.2.4 und Kapitel 6.3.2.

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 6.1.2.3ff beschriebenen Verfahren und Methoden.

Die impliziten Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten sind in Tabelle 416 (Kapitel 6.7.2.6) 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 416 (Kapitel 6.7.2.6) zu finden.

6.7.2.4 Organische Böden

Die Emissionsberechnung erfolgt nach den in Kapitel 6.1.2.2 beschriebenen Methoden.

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, 2006a). 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, 2006a):

$$\mathbf{CO_2\text{-}Eq._{Torfabbau} = CO_2\text{-}Eq._{on\text{-}site} + CO_2\text{-}Eq._{off\text{-}site}}$$

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, 2006a) folgendermaßen modifiziert:

$$\mathbf{CO_2\text{-}Eq._{\ on\text{-}site} = A_{Torf\text{-}nährstoffarm} \times (EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_CO2} + EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_N2O} + EF_{Torf\text{-}nährstoffarm_CH4})}$$

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, 2006a):

$$\mathbf{CO_2\text{-}Eq._{off\text{-}site} = Vol_{Torf_trocken} \times Cfraction_{vol_Torf}}$$

$CO_{2off\text{-}site}$: 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 (2006a), Tab. 7.5)]

Die Emissionsfaktoren für die on-site Emissionen sind in Tabelle 419 (Kapitel 6.7.2.6) aufgeführt; die off-site Emissionen, berechnet aus den Torfproduktionsmengen, sowie die IEF für die off-site Emissionen in Tabelle 415.

Tabelle 415: 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	97,90	2.029,5 ± 795,6
1995	106,25	2.203,9 ± 863,9
2000	116,43	2.416,2 ± 947,2
2005	104,97	2.179,6 ± 854,4
2010	101,17	1.991,5 ± 780,7
2011	105,42	2.030,5 ± 796,0
2012	111,82	2.106,0 ± 825,6
2013	110,87	2.042,0 ± 800,5
2014	108,50	1.952,7 ± 765,5
2015	117,52	2.066,4 ± 810,0
2016	122,71	2.069,5 ± 811,2
2017	124,30	2.007,6 ± 787,0
2018	131,82	2.035,9 ± 798,1
2019	142,50	2.097,2 ± 822,1
2020	157,89	2.212.9 ± 867,5
2021	164,75	2.226,1 ± 896,6

6.7.2.6 Gewässer

Erstmalig wird mit dieser Submission über Methanemissionen aus *Stehenden künstlichen Gewässern* und *Fließenden künstlichen Gewässern* berichtet, gemäß den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006b) und des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2019b).

Die Untergliederung der Landnutzungskategorie *Gewässer*, die Beschreibung der Subkategorien sowie die Methoden, Gewinnung der Aktivitätsdaten und Herleitung der Emissionsfaktoren sind in Kapitel 6.1.2.6 und Kapitel 6.2.4 beschrieben.

Gemäß des 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2019b) werden ausschließlich Methanemissionen berichtet. Diese werden nur für die Subkategorien *Stehende künstliche Gewässer* und *Fließende künstliche Gewässer* erfasst, die Ergebnisse in der CRF-Tabelle 4.(II).D festgehalten. Emissionen aus *Natürlichen Gewässern* sind nicht berichtspflichtig; die entsprechenden Felder der CRF-Tabelle 4.(II).D werden daher mit dem Notation Key NO versehen.

Die Emissionen aus Entwässerungsgräben organischer Böden fallen gemäß der Berichtsregeln nicht unter die Landnutzungskategorie *Fließende künstliche Gewässer*. Sie werden entsprechend der aktuellen Nutzung des entwässerten Moores in der CRF-Tabelle 4.(II).A/B/C oder H dokumentiert.

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 416 bis Tabelle

419 aufgeführten Unsicherheiten für den Torfabbau bis 40 % sind auf die Unsicherheitenfortpflanzung 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 0,38 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Emissionen der Landnutzungskategorie *Feuchtgebiete* beträgt -27,4 % / +29,6 % [95-% Perzentile], die für die Subkategorien *Terrestrische Feuchtgebiete* -42,4 % / +47,3 %, *Gewässer* -56,1 % / +56,1 % und Torfabbau -37,1 % / +37,1%.

Der Beitrag der Kategorie *Feuchtgebiete* zur Gesamtunsicherheit des LULUCF-Sektors ist mit 2% gering. Nichtsdestotrotz sind die Werte im Zusammenhang mit Methanemissionen aus Gewässern und den Emissionen aus dem *Torfabbau* und der organischen Böden aus der Subkategorie *Terrestrische Feuchtgebiete* deutlich wahrnehmbar.

Tabelle 416: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus terrestrischen Feuchtgebieten 2021, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
$Landnutzung_{vor}$	$Landnutzung_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C[117]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald		0,7405	23,12	23,12
$Acker_{annuell}$		1,7085	45,75	46,73
Hopfen		0,0000	9,33	9,33
Weinanbau		0,0000	10,41	10,41
Obstanbau		0,4703	99,99	196,23
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	9,33	9,33
Baumschulen		0,0000	9,33	9,33
Weihnachtsbaumkulturen	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0000	9,33	9,33
$Grünland_{i.e.S.}$		1,0632	14,66	16,37
Gehölze		1,0980	26,02	27,02
Hecken		0,0000	7,58	10,52
Gewässer		0,0000	13,25	13,25
Torfabbau		/	/	/
Siedlungen		2,0488	62,51	62,51
Sonstiges Land		2,6900	3,69	4,69
Mineralboden N_2O_{direkt}[118]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
$Grünland_{i.e.S.}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0712	66,45	182,32
Mineralboden $N_2O_{indirekt}$[119]		[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]	[%]
$Grünland_{i.e.S.}$	$Feuchtgebiete_{terrestrisch}$	0,0160	99,99	260,38

[117] Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[118] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,
[119] Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke,

Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		untere	obere
Mineralboden CO_2-C[117]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Biomasse[120]		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	-2,0832	29,49	30,12
Acker$_{annuell}$		0,5859	53,67	54,69
Hopfen		0,0000	42,49	43,84
Weinanbau		0,0000	40,26	41,54
Obstanbau		2,2290	99,99	198,48
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	14,71	15,77
Baumschulen		0,0000	27,94	28,70
Weihnachtsbaumkulturen		-6,3989	99,99	142,35
Grünland i.e.S.		1,1837	42,02	43,32
Gehölze		-9,5297	42,92	43,62
Hecken		-42,5599	90,23	90,56
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$		0,0000	0,00	0,00
Gewässer		0,0000	47,94	49,47
Torfabbau		2,9168	50,31	51,76
Siedlungen		0,3998	51,06	51,86
Sonstiges Land		0,0000	99,99	162,30
Tote organische Substanz		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**
Wald	Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	-1,7009	10,90	10,90

positiv: Senke; negativ: Quelle

Tabelle 417: Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Torfabbau 2021 für die Biomasse

Torfabbau		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		obere	untere
Biomasse[121]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald	Torfabbau	-3,1937	84,51	84,51
Acker$_{annuell}$		-0,7570	31,32	31,32
Hopfen		0,0000	16,54	16,54
Weinanbau		0,0000	18,95	18,95
Obstanbau		0,0000	14,41	14,41
Kurzumtriebsplantagen		0,0000	8,12	10,30
Baumschulen		0,0000	23,39	23,39
Weihnachtsbaumkulturen		-2,7884	99,99	114,13
Grünland i.e.S.		-0,5864	33,52	33,52
Gehölze		-3,1555	99,99	149,32
Hecken		0,0000	99,99	203,73
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$		-5,2946	53,02	54,40
Gewässer		0,0000	0,00	0,00
Siedlungen		-4,2429	99,99	107,36
Sonstiges Land		0,0000	0,00	0,00
Tote organische Substanz		**[t C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	Torfabbau	-3,1937	73,00	73,00

positiv: Senke; negativ: Quelle

[120] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung
[121] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

Tabelle 418: Unsicherheiten von Impliziten Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus Gewässern im Jahr 2021, nach IPCC AR5

Landnutzung	Treibhausgas	Impliziter Emissionsfaktor	Schranken	
			obere	untere
		[t CO2-Eq. ha-1 a-1]	[%]	[%]
künstliche stehende Gewässer	CH4	382,3546	15,67	19,18
Fischteiche	CH4	5.533,92	63,39	57,98

Tabelle 419: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Feuchtgebiete und Torfabbau im Jahr 2021, nach IPCC AR5

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden[122]		[t CO_2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]	%	%
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	CO_2	19,1803	62,01	68,37
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	N_2O	0,2855	75,60	202,57
Feuchtgebiete$_{terrestrisch}$	CH_4	4,6418	62,46	81,03
Torfabbau	CO_2	133,6362	8,14	9,25
Torfabbau	N_2O	0,3736	49,92	49,92
Torfabbau	CH_4	0,1651	57,83	82,85

Die Berechnungen sind für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2021 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.

Die Tabelle 420 zeigt einen innereuropäischen Vergleich impliziter Emissionsfaktoren (IEF) für unterschiedliche Pools der Kategorie *Feuchtgebiete*. Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus den Submissionen 2022 des Klimasekretariats verwendet (UNFCCC NIR Submission 2022: Inventurjahr 2020, (UNFCCC, 2022b)). Werte für Deutschland 2021 stammen aus der aktuellen Submission 2023.

Der Vergleich ist von vornherein problematisch, da die zu vergleichenden Werte methodisch z.T auf sehr unterschiedliche Art erhoben werden und vorallem auch die Grenzen der Systeme mitunter deutlich divergieren. *Feuchtgebiete* bedeutet in Deutschland bei diesem Vergleich die Summe aus den Subkategorien *Terrestrische Feuchtgebiete*, *Natürliche Gewässer*, *Stehende künstliche Gewässer*, *Fließende künstliche Gewässer* und *Torfabbau*. Diese Zusammensetzung ist uneinheitlich zwischen den Staaten, was einen Vergleich der mittleren Emissionsfaktoren problematisch macht. Nichtsdestotrotz: Die meisten EF finden eine Entsprechung in absoluter Größe und Tendenz, in denen diverser mitteleuropäischen Nachbarländer.

[122] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Tabelle 420: Kohlenstoffvorratsveränderung verschiedener Pools in Wetland verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-1,121	-0,068	1,505	NO
Dänemark	NO,NA	NO,NA	-0,478	NO	NO	NO	NE
Frankreich	NA	NA	NE,NA	-0,484	-0,054	NO	NE
Großbritannien	0,000	NO,NE,NA	-0,103	NA	NA	NA	NE
Niederlande	NO,NA	NO,NA	NO	NA	NA	0,001	NO
Österreich	NO,NE	NO,NE	NO,NE	-0,468	-0,153	NO	NO
Polen	NO	NO	-0,194	-0,227	-7,974	NO,NA	NO,NA
Schweiz	0,000	NO,IE	-4,853	0,004	NO	0,047	-5,300
Tschechische Republik[1)]	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Deutschland 2020	0,01	IE	-6,63	-0,24	-0,10	0,11	-3,88
Deutschland 2021	0,007	IE	-3,503	0,347	-0,142	1,041	-4,756

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

[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 – 2021 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:

- Komplette Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in den Programmiersprachen R und C++
- Thematische, räumliche und zeitliche 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)
- Einführung der neuen Landnutzungssubkategorien *Natürliche Gewässer*, *Stehende künstliche Gewässer*, *Fließende künstliche Gewässer* und *Hecken*
- Einführung neuer regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie *Gebäude und Freiflächen* der Landnutzungskategorie *Siedlungen* (s. Kapitel 6.1.2.1.6) und der Landnutzungskategorie *Sonstiges Land* (s. Kapitel 6.1.2.1.7)
- Implementierung flächendeckender, hochauflösender Karten regionalisierter Mineralbodenkohlenstoff- bzw. -stickstoffvorräte für die Landnutzungskategorien *Ackerland*$_{annuel}$, *Grünland* und *Wald* in die Methodik zur Erfassung der THG-Emissionen aus Mineralböden (s. Kapitel 6.1.2.1ff)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Kategorie Feuchtgebiete in Tabelle 421 (Flächen) und Tabelle 422 (Emissionen).

Die Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf zwei Umstände zurückzuführen:

- Der Einführung der neuen Landnutzungssubkategorien

Der Neuprogrammierung des Rechenmodells sowie der Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten, durch Einarbeitung derneu hinzugekommenen Daten des letzten Zeitreihenjahres. 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 bezüglich der Emissionen zwischen der aktuellen und der Vorjahressubmission sind in der Kategorie *Feuchtgebiete* deutlicher ausgeprägt als in den anderen Kategorien. Tabelle 422 verdeutlicht, dass insbesondere die Methanemissionen ein Vielfaches größer sind. Dies ist auf die Einführung der neuen Gewässerkatekorien zurückzuführen und die erstmalige Erfassung der Emissionen aus diesen.

Die ebenfalls augenscheinlichen Unterschiede bezüglich der N_2O-Emissionen sind im Wesentlichen auf die Einführung der Karten zu den Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräten der Mineralböden zurückzuführen. Die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden anderer Landnutzungskategorien sind nicht mehr einheitlich geringer als in der Subkategorie *Terrestrische Feuchtgebiete*. Daher kommt es zur erstmaligen Ausweisung von N_2O-Emissionen bei Landnutzungsänderungen zu *Terrestrischen Feuchtgebieten*. Dieser Effekt wird aber genauso mehrfach überlagert, wie die Effekte bezüglich der CO_2-Emissionen, bei denen diese Überlagerung in der Summe der Emissionen nur geringe Veränderungen aufweist. Die Ursachen, deren Auswirkungen sich in der zusammenfassenden Darstellung überlagern sind z.B.:

- kleinere Änderungen in den Flächen (Tabelle 421),
- unterschiedliche Wasserstände in den organischen Böden,
- Regionalisierungseffekte durch Einführung der Bodenkarten.

Tabelle 421: 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	2020
4.D	Wetlands	2022	648,15	649,78	651,45	676,47	707,20	728,30	730,99	733,68	736,41	739,15	741,86
		2023	777,84	777,85	777,84	791,64	798,74	801,15	802,34	803,53	804,71	805,90	807,08
		Differenz	129,69	128,07	126,39	115,17	91,54	72,86	71,35	69,84	68,30	66,75	65,22
		in %	20,0%	19,7%	19,4%	17,0%	12,9%	10,0%	9,8%	9,5%	9,3%	9,0%	8,8%

Tabelle 422: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] aus der Kategorie Feuchtgebiete der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr		THG	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4.D	Wetlands	CO_2	2022	1.607,78	1.614,01	1.620,04	2.053,76	2.028,24	1.992,79	2.036,03	2.058,72	2.083,26	2.103,80	2.120,29
			2023	1.670,74	1.677,42	1.683,56	2.011,37	2.070,80	2.079,62	2.132,63	2.157,62	2.177,48	2.190,15	2.194,03
			Differenz	62,96	63,41	63,52	-42,38	42,56	86,83	96,60	98,90	94,22	86,35	73,74
			in %	3,9%	3,9%	3,9%	-2,1%	2,1%	4,4%	4,7%	4,8%	4,5%	4,1%	3,5%
		CH_4	2022	335,1	336,0	337,1	453,6	547,0	608,5	619,0	632,0	647,1	664,3	683,7
			2023	4.755,2	4.756,0	4.756,8	4.818,0	4.853,2	4.865,1	4.865,7	4.868,7	4.874,3	4.882,2	4.891,7
			Differenz	4.420,2	4.420,0	4.419,7	4.364,4	4.306,2	4.256,5	4.246,7	4.236,8	4.227,2	4.217,9	4.208,0
			in %	1.319,2%	1.315,3%	1.311,2%	962,1%	787,2%	699,5%	686,0%	670,4%	653,2%	635,0%	615,5%
		N_2O	2022	102,54	117,53	120,67	640,77	252,55	136,91	62,96	115,48	131,61	149,94	161,25
			2023	25,85	26,73	25,11	222,42	-213,84	-251,79	-110,87	-59,92	-59,41	-37,43	-35,04
			Differenz	-76,69	-90,80	-95,56	-418,35	-466,39	-388,70	-173,83	-175,40	-191,02	-187,38	-196,29
			in %	-74,8%	-77,3%	-79,2%	-65,3%	-184,7%	-283,9%	-276,1%	-151,9%	-145,1%	-125,0%	-121,7%

6.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.D)

Für die Landnutzungskategorie *Feuchtgebiete* sind folgende kurzfristige Maßnahmen zur Verbesserung des Inventars geplant:

- Implementierung regionalisierter Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte für die Mineralböden der Landnutzungskategorie *Terrestrische Feuchtgebiete*

- Konsolidierung der Aktivitätsdatensätze für die Subkategorien *Stehende künstliche Gewässer* und *Fließende künstliche Gewässer*

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/T	**4 E, Settlements**		**CO_2**	**1.251,4**	**0,1 %**	**1.472,9**	**0,2 %**	**17,7 %**
-/-	4 E, Settlements		CH_4	18,8	0,0 %	28,4	0,0 %	50,9 %
-/-/2	**4 E, Settlements**		**N_2O**	**122,7**	**0,0 %**	**255,8**	**0,0 %**	**108,4 %**

* 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 CO_2. eine Hauptkategorie nach dem Trend, sowie für N_2O nach der Methode-2-Analyse.

Sie wird in die Subkategorien *Gebäude und Freiflächen* und *Straßen* unterteilt (Kapitel 6.2.5). Emissionen werden nur von *Gebäuden und Freiflächen* berichtet, da in der Subkategorie *Straßen* ausschließlich die vollversiegelte, vegetationslose Fläche erfasst wird.

In der Landnutzungssubkategorie Gebäude und Freiflächen 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 423 und in Abbildung 81 und Abbildung 82 dargestellt.

Tabelle 423: CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] aus Siedlungsflächen 2021. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Kategorie	THG	Siedlungen Emissionen 2021 [kt CO_2-Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
$Siedlungen_{total}$ [1)]		**1.757,1**	1.376,0	2.264,4	15,64	15,04
Mineralboden	CO_2 [2)]	**1.318,7**	1.173,9	1.519,6	10,98	15,24
	$N_2O_{indirekt}$ [4)]	**27,00**	9,65	70,43	64,25	160,84
	N_2O_{direkt} [3)]	**120,00**	72,90	254,88	39,25	112,39
Organischer Boden	CO_2 [2)]	**1.940,6**	1.288,2	2.266,5	33,62	16,79
	N_2O [5)]	**108,77**	44,37	372,21	59,21	242,19
	CH_4 [5)]	**28,40**	18,96	43,27	33,26	52,35
Biomasse	CO_2 [2)]	**-2.252,94**	-1.682,94	-2.840,70	25,30	26,09
Streu/Totholz	CO_2 [2)]	**466,5**	437,11	495,94	6,30	6,30

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 2021 betrugen die Treibhausgasemissionen aus den Siedlungs- und Verkehrsgebieten Deutschlands infolge von Landnutzung und Landnutzungsänderung 1.757,1 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5 (Tabelle 423); dies ist die Summe der positiven Emissionen (Quelle) aus den Böden (3.543,5 kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5; Anteil organischer Böden 58,5 %, Mineralböden 41,5 %) und der Toten organischen Substanz (466,5 kt CO_2-Eq.) sowie den negativen Emissionen (Senke) aus der Biomasse (-2.252,9 kt CO_2-Eq.), die 2021 eine starke Senke darstellte.

Gegenüber dem Basisjahr weisen die Emissionen im Jahr 2021 eine Nettozunahme -27 % auf (Abbildung 81, Abbildung 82). 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 - 2021) (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 81: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen von 1990 – 2021, dargestellt nach Unterkategorien

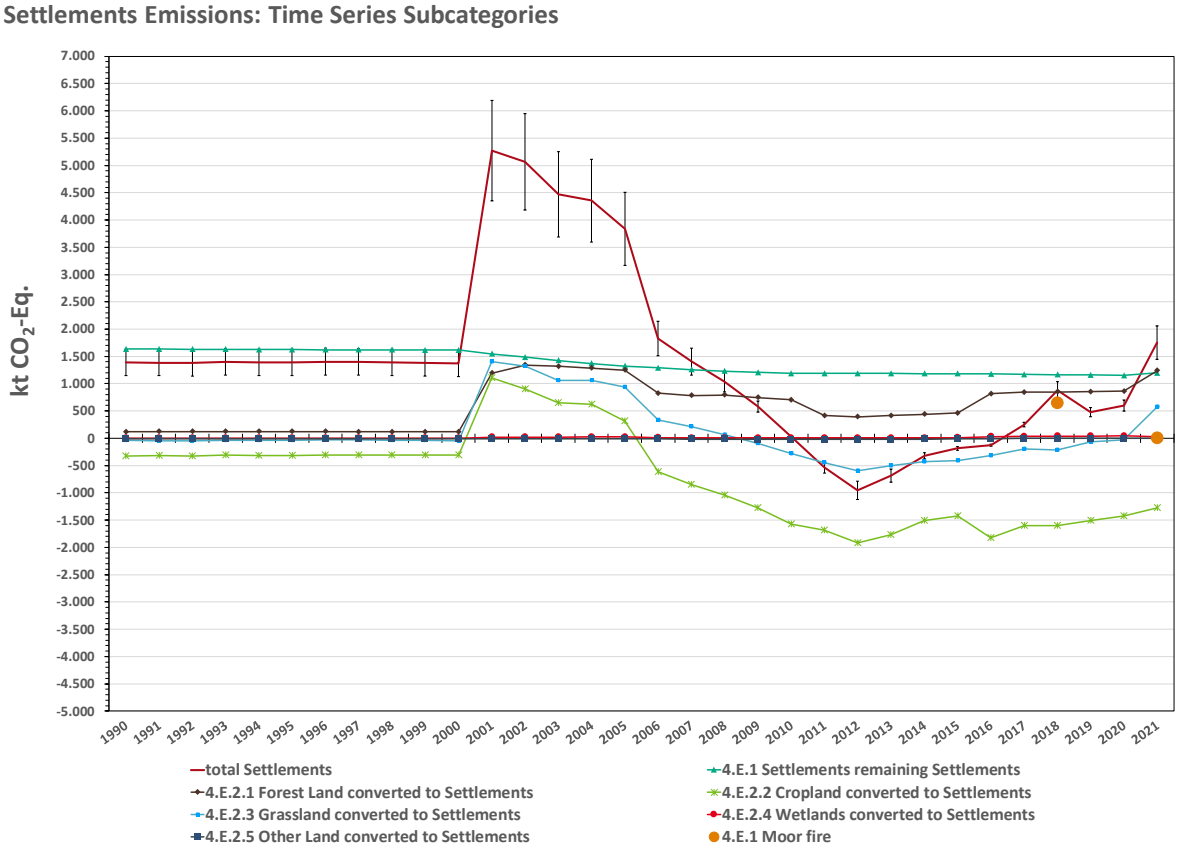
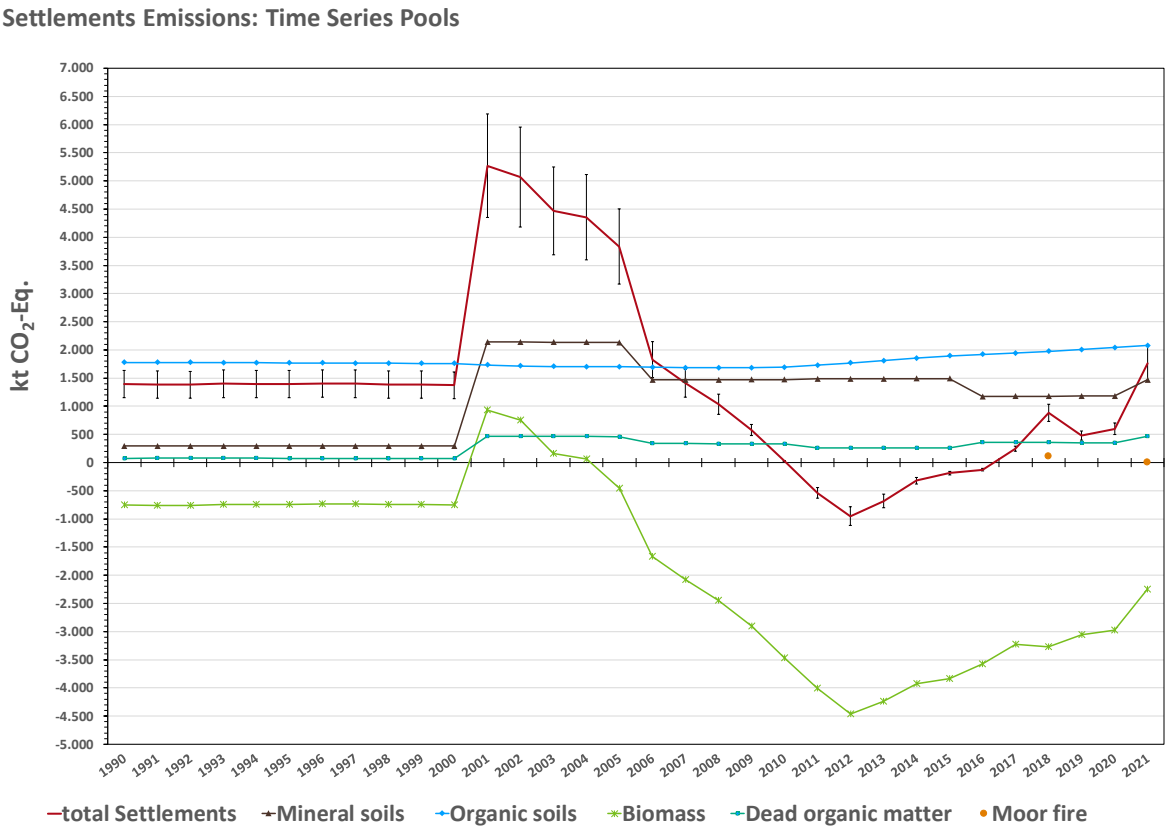


Abbildung 82: THG-Emissionen [kt CO_2-Eq. nach IPCC AR5] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen Deutschlands von 1990 – 2021, dargestellt nach Pools



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

Die Methode zur Berechnung der Biomasse 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 *Gebäude und Freiflächen* 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.

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). 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 werden die für *Gebäude und Freiflächen* berechneten CO_2- und CH_4-Emissionen aus organischen Böden nur um 15 % reduziert, bzw. der Emissionsfaktor für Lachgas mit dem neuen Flächenfaktor auf 3,91 kg N_2O-N ha^{-1} korrigiert.

Bei Landnutzungsänderung zu *Gebäude und Freiflächen* wird sofort der Wert für verbleibende *Gebäude und Freiflächen* 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 2021 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 *Gebäude und Freiflächen* sind in Tabelle 424 und Tabelle 425 dargestellt

Die Unsicherheiten betragen für die Aktivitätsdaten in Abhängigkeit von der Flächengröße für das Jahr 2021 0,1 - 98 %. Die Gesamtunsicherheit für die Aktivitätsdaten der Siedlungskategorie beträgt 0,09 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie *Siedlungen* beträgt -15,6 % / +15,0% (95-% Perzentile) und wird hauptsächlich von den Emissionen aus den organischen Böden bestimmt.

Tabelle 424: Implizite Emissionsfaktoren und Unsicherheiten der Emissionsfaktoren [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Gebäude und Freiflächen 2021, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Siedlungen	Fläche	Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung$_{vor}$	Landnutzung$_{nach}$		obere	untere
Mineralboden CO_2-C[123]		[t C ha^{-1} a^{-1}]	[%]	[%]
Wald		-0,6517	21,79	21,79
Acker$_{annuell}$		-0,2040	19,07	32,08
Hopfen		-0,4748	90,32	90,32
Weinanbau		-0,2033	32,12	32,12
Obstanbau		-0,2287	27,53	27,53
Kurzumtriebsplantagen		-0,2326	49,29	49,29
Baumschulen	Gebäude und	-0,5412	26,41	26,41
Weihnachtsbaumkulturen	Freiflächen	-0,3547	25,26	28,41
Grünland i. e. S.		-0,4754	18,97	25,34
Gehölze		-0,8771	19,47	25,72
Hecken		-8,3778	32,70	36,76
Terr. Feuchtgebiete		-0,8112	55,57	55,57
Gewässer		0,0000	18,74	18,74
Sonstige Flächen		-0,0046	69,60	69,60

[123] Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Siedlungen Landnutzung$_{vor}$	Fläche Landnutzung$_{nach}$	Emissionsfaktor	Schranken obere	 untere
Mineralboden N2O$_{direkt}$[124]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald		0,1280	99,99	287,04
Acker$_{annuell}$		0,0599	99,99	287,57
Hopfen		0,1553	99,99	300,35
Weinanbau		0,0686	99,99	288,53
Obstanbau		0,0740	99,99	287,86
Kurzumtriebsplantagen	Gebäude und	0,0728	99,99	291,62
Baumschulen	Freiflächen	0,1720	99,99	288,53
Weihnachtsbaumkulturen		0,1125	99,99	288,52
Grünland i.e.S.		0,1435	99,99	287,21
Gehölze		0,2662	99,99	287,24
Hecken		2,4455	99,99	288,44
Terr. Feuchtgebiete		0,2303	99,99	291,89
Sonstige Flächen		0,0016	99,99	301,48
Mineralboden N2O$_{indirekt}$[125]		**[kg N_2O ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald		0,5690	70,35	200,42
Acker$_{annuell}$		0,2661	70,10	201,18
Hopfen		0,6902	99,99	219,06
Weinanbau		0,3048	77,01	202,56
Obstanbau		0,3288	74,45	201,60
Kurzumtriebsplantagen	Gebäude und	0,3238	86,89	206,93
Baumschulen	Freiflächen	0,7645	75,89	202,55
Weihnachtsbaumkulturen		0,4998	75,86	202,54
Grünland i.e.S.		0,6377	70,06	200,66
Gehölze		1,1831	70,19	200,71
Hecken		10,8688	74,95	202,42
Terr. Feuchtgebiete		1,0234	88,25	207,31
Sonstige Flächen		0,0073	99,99	220,61
Biomasse[126]		**[kt C ha^{-1} a^{-1}]**		**[%]**
Wald		-1,4803	32,09	32,99
Acker$_{annuell}$		1,1223	45,80	47,25
Hopfen		1,9993	99,29	100,00
Weinanbau		1,9993	99,29	100,00
Obstanbau		0,9541	49,28	50,58
Kurzumtriebsplantagen		1,6207	52,49	52,85
Baumschulen	Gebäude und	1,1613	40,93	41,71
Weihnachtsbaumkulturen	Freiflächen	1,1094	43,51	44,39
Grünland i. e. S.		1,0333	45,91	47,37
Gehölze		-3,5984	40,03	40,77
Hecken		-53,3542	47,49	48,12
Terr. Feuchtgebiete		0,4450	46,21	47,10
Gewässer		0,0000	50,92	52,55
Torfabbau		1,9281	99,99	102,20
Sonstige Flächen		0,5625	55,98	57,47
Tote organische Substanz[127]		**[kt C ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Wald	Gebäude und Freiflächen	-1,4230	6,30	6,30

Tabelle 425: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Siedlungen im Jahr 2021, nach IPCC AR5

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken untere	 obere
Organischer Boden[128]		**[t CO2-Eq. ha^{-1} a^{-1}]**	**[%]**	**[%]**
Gebäude und Freiflächen	CO_2	28,8162	33,62	16,79
Gebäude und Freiflächen	CH_4	0,4218	33,26	52,35
Gebäude und Freiflächen	N_2O	1,6152	59,21	242,19

[124] Berechnung über 20 Jahre, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke
[125] Berechnung über 20 Jahre, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke
[126] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[127] Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle
[128] Berechnung jährlich, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

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 2022 des Klimasekretariats verwendet. Die Werte für Deutschland stammen aus den Submissionen 2022 und 2023.

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 oder finden bei Randlage immer eine Entsprechung in mindestens einem anderen mitteleuropäischen Nachbarland.

Tabelle 426: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,551	-5,146	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO,NA	-0,222	-1,583	-0,183	-0,075	-0,005	NO,NA
Frankreich	-0,031	-0,688	-3,636	-0,033	-0,336	NA	NA
Großbritannien	NA	-0,885	-4,363	-0,248	-0,076	-3,179	NO
Niederlande	NA	-0,499	-2,725	-0,196	-0,399	NO,NE	NO,NE
Österreich	NA	0,406	-0,851	0,454	0,526	NO	NO
Polen	0,048	-0,412	-1,144	-0,032	-0,900	NO	NO
Schweiz	0,001	-0,535	-4,603	-0,186	-0,135	0,103	0,016
Tschechische Republik	NO	-0,314	-3,749	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	NO	0,738	-1,008	1,069	0,727	0,751	NO
Deutschland 2021	NO	0,807	-0,829	1,126	0,791	-2,675	0,528

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 427: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,021	-0,198	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO,NA	-0,065	-1,695	NO	NA	NA	NO,NA
Frankreich	NA	-0,065	-0,442	NA	NA	NA	NA
Großbritannien	NA	-0,228	-1,287	IE,NA	IE,NA	-0,370	NO
Niederlande	NA	-0,057	-0,794	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,026	-0,585	NO	NO	NO	NO
Polen	NA	-0,001	-0,018	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,074	-0,861	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	-0,030	-0,354	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	IE	-0,10	-1,09	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2021	IE	-0,096	-1,079	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 428: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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	-0,944	-2,204	NO	-1,362	-2,329	NO
Dänemark	NO,NA	-0,872	-1,480	-0,805	-1,464	0,003	NO,NA
Frankreich	NA	-0,974	-1,526	-0,150	-1,675	NO	NA
Großbritannien	-0,255	-4,689	-7,911	-2,178	-5,108	NO	NO
Niederlande	NA	-0,210	-0,376	0,499	-0,481	-0,264	1,968
Österreich	NA	-0,746	-2,957	-0,522	-1,522	NO	NO
Polen	NO	-1,392	-2,544	-1,409	-1,650	NO	NO
Schweiz	0,057	-0,509	-0,939	-0,360	-0,527	0,100	0,402
Tschechische Republik	NO	-0,131	-0,281	-0,054	-0,405	NO	NO
Deutschland 2020	NO	-0,312	-0,385	-0,200	-0,435	-0,029	NO
Deutschland 2021	NO	-0,378	-0,652	-0,205	-0,520	-0,811	-0,005

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

Tabelle 429: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2020 & 2021, übrige Länder für 2020)

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,NA	NO,NA	NA	NA	NO,NA	NA	NO,NA
Frankreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-1,011	-2,342	-1,614	NO	-5,000	-7,900	NO
Niederlande	-4,079	-3,996	-3,963	-3,850	-4,016	-4,282	-3,296
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	NO
Schweiz	-2,551	-5,120	-7,435	-5,091	-5,136	-7,007	NO
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2020	-7,28	-7,38	-6,90	-7,61	-7,39	-6,34	-6,87
Deutschland 2021	-5,163	-7,793	-7,394	-7,872	-7,844	-7,114	-8,102

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2021)

6.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.E)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2021 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:

- Komplette Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in den Programmiersprachen R und C++
- Thematische, räumliche und zeitliche 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)
- Einführung der neuen Landnutzungssubkategorien *Straßen, Natürliche Gewässer, Stehende künstliche Gewässer, Fließende künstliche Gewässer* und *Hecken*
- Einführung neuer regionalisierter Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie *Gebäude und Freiflächen* der Landnutzungskategorie *Siedlungen* (s. Kapitel 6.1.2.1.6) und der Landnutzungskategorie *Sonstiges Land* (s. Kapitel 6.1.2.1.7)
- Implementierung flächendeckender, hochauflösender Karten regionalisierter Mineralbodenkohlenstoff- bzw. -stickstoffvorräte für die Landnutzungskategorien *Ackerland$_{annuell}$, Grünland* und *Wald* in die Methodik zur Erfassung der THG-Emissionen aus Mineralböden (s. Kapitel 6.1.2.1ff)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Kategorie Siedlungen inTabelle 430 (Flächen) und Tabelle 431 (Emissionen).

Die Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf zwei Umstände zurückzuführen:

- Der Einführung der neuen Landnutzungssubkategorien

- Der Neuprogrammierung des Rechenmodells sowie der Aktualisierung der Kartengrundlage zur Ermittlung der Aktivitätsdaten, durch Einarbeitung der neu hinzugekommenen 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).

Die Emissionen der Submission 2023 weisen gegenüber der Vorjahressubmission für alle Treibhausgase deutliche Unterschiede aus. Die Ursachen hierfür sind mannigfach und deren Auswirkungen überlagern sich mehrfach, sind gleichgerichtet (verstärkte Auswirkungen) oder entgegengesetzt (Auswirkungen heben sich auf). Die Ursachen, deren Auswirkungen sich in der zusammenfassenden Darstellung überlagern sind z.B.:

- Flächenänderungen, hier insbesondere die Einführung der Subkategorie *Straßen* sowie deren Statik
- Veränderungen der Flächenverhältnisfaktoren (versiegelt/unversiegelt) für *Gebäude und Freiflächen*
- Regionalisierungseffekte durch Einführung der Bodenkarten
- unterschiedliche Wasserstände in den organischen Böden

Tabelle 430: 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	2020
4.E	Settlement	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	4.628,96
		2023	3.864,96	3.879,18	3.893,36	4.121,11	4.284,84	4.496,31	4.520,22	4.544,13	4.568,01	4.591,88	4.615,74
		Differenz	24,39	22,01	19,58	-0,67	-0,07	-3,03	-5,04	-7,07	-9,10	-11,15	-13,22
		in %	0,6%	0,6%	0,5%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,3%

Tabelle 431: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO_2-eq. mit GWP nach IPCC AR5] 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	2020
4.E	Settlement	CO_2	2022	1.776,57	1.812,06	1.806,38	4.529,69	471,74	351,63	303,79	704,13	764,13	932,21	1.075,87
			2023	1.251,39	1.252,84	1.233,74	3.511,62	-229,01	-462,07	-370,69	0,64	-15,41	228,14	346,22
			Differenz	-525,17	-559,21	-572,65	-1.018,07	-700,76	-813,70	-674,48	-703,49	-779,54	-704,07	-729,65
			in %	-29,6%	-30,9%	-31,7%	-22,5%	-148,5%	-231,4%	-222,0%	-99,9%	-102,0%	-75,5%	-67,8%
		CH_4	2022	53,8	52,3	50,8	59,1	63,8	69,4	71,1	72,8	177,1	73,9	73,1
			2023	18,8	17,9	17,1	19,6	21,8	26,0	27,3	28,3	132,2	28,5	27,8
			Differenz	-34,97	-34,45	-33,69	-39,43	-41,94	-43,35	-43,75	-44,49	-44,94	-45,34	-45,28
			in %	-65,0%	-65,8%	-66,4%	-66,7%	-65,7%	-62,5%	-61,6%	-61,1%	-25,4%	-61,4%	-61,9%
		N_2O	2022	152,01	168,6	167,9	404,1	310,9	325,9	280,4	282,9	285,4	287,8	290,2
			2023	122,73	121,8	121,0	302,9	236,5	249,9	217,1	219,0	220,7	222,6	224,1
			Differenz	-29,28	-46,75	-46,83	-101,24	-74,36	-75,99	-63,22	-63,93	-64,66	-65,26	-66,07
			in %	-19,3%	-27,7%	-27,9%	-25,1%	-23,9%	-23,3%	-22,5%	-22,6%	-22,7%	-22,7%	-22,8%

6.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.E)

Über die in Kapitel 6.1.2.1.9 angeführten geplanten, überwiegend mittelfristigen Maßnahmen hinaus, sind derzeit keine weiteren spezifischen Maßnahmen zur Verbesserung der Methodik im Bereich Siedlungen 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

6.9 Sonstiges Land (4.F)

6.9.1 Beschreibung der Kategorie (4.F)

Da es sich bei den unter der Kategorie „Sonstiges Land“ geführten Flächen per Definition um vom Menschen nicht bewirtschaftetes Land handelt, werden nur die Flächengrößen zur Vervollständigung der Flächenmatrix aufgeführt. Emissionen im Sinne der IPCC Richtlinien können nicht auftreten und damit nicht berichtet werden. Daher findet sich der Vermerk NO in allen Rubriken der CRF-Tabelle 4.F mit Ausnahme des Feldes für die Fläche der Verbleibkategorie.

6.9.2 Methodische Aspekte (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.

6.9.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.F)

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten erfolgten gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006a). Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 6.1.2.1.

Die Zeitreihe ist vollständig und konsistent.

6.9.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.F)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

6.9.5 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 Maßnahmen:

- Komplette Neuimplementierung des LULUCF-Berechnungsmodells in den Programmiersprachen R und C++
- Thematische, räumliche und zeitliche 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)

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen. Diese bedingen sich in der Neuprogrammierung des Rechenmodells sowie der Aktualisierung der Kartengrundlage zur

Ermittlung der Aktivitätsdaten, durch Einarbeitung der neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres. 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 432: 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	2020
4.F	Other Land	2022	67,59	62,36	57,14	46,06	41,22	38,66	38,16	37,66	37,16	36,66	36,16
		2023	66,80	61,46	56,31	46,64	41,96	39,69	39,22	38,78	38,34	37,91	37,50
		Differenz	-0,80	-0,91	-0,83	0,58	0,74	1,03	1,06	1,12	1,18	1,25	1,34
		in %	-1,2%	-1,5%	-1,5%	1,2%	1,8%	2,6%	2,7%	2,9%	3,1%	3,3%	3,6%

6.9.6 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	4 G, Harvested Wood Products		CO_2	-1.330,4	-0,1 %	-8.651,3	-1,1 %	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.

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen im Landnutzungssektor wird in dem Modell WoodCarbonMonitor (Rüter, 2017) auf Basis der Daten zur Produktion von Holzprodukten mit dem vorgegebenen Berechnungsansatz 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[129] (UNFCCC, 2014b) für den auf Produktionsdaten basierenden und hier verwendeten Ansatz (Ansatz B) neben den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006a) 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, 2006a) 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

129 Fußnote 12 des CRF-Tabellenblatts 4.G s1

energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt und deshalb nicht unter Holzprodukte (HWP) berichtet.

Da zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts (09/2022) gemäß des festgelegten Routineablaufs der Inventarerstellung (s. Kapitel 1.2.3) die für die Berechnung notwendigen Aktivitätsdaten für Holzprodukte noch nicht vorlagen (vgl. (FAO, 2022a)), werden die Zeitreihen zu CO_2-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten für das Jahr 2021 fortgeschrieben (siehe Abbildung 83).

Abbildung 83: Netto CO_2-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten [kt CO_2)

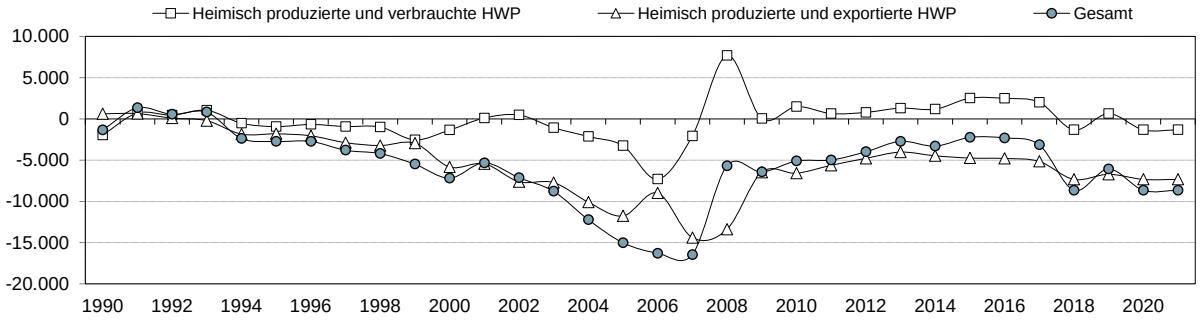
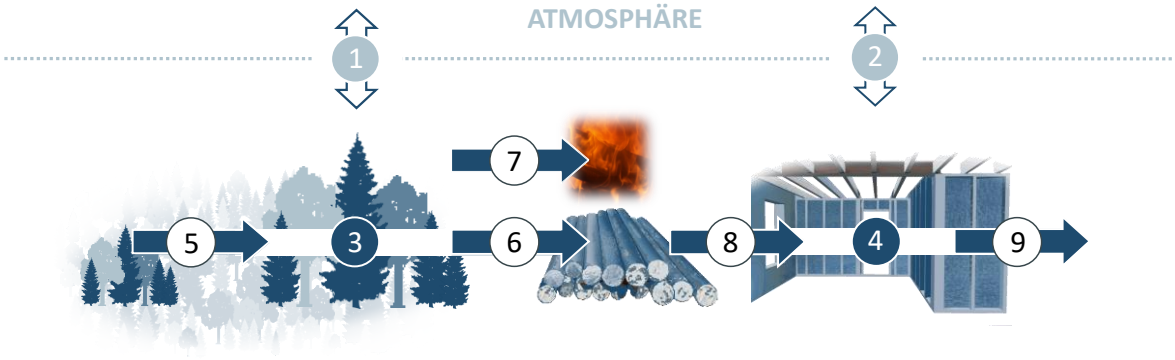


Abbildung 84 zeigt eine Übersicht des Berichtsjahres 2020 über die mit der Wald- und Holznutzung verbundenen Kohlenstoffflüsse, die als Zu- und Abnahme („gains“ und „losses“) der definierten Kohlenstoffspeicher für Wald (hier: nur lebende Biomasse (3), s. Kapitel. 6.4.2.2) und Holzprodukte (4) berichterstattet werden. Über die Änderungen dieser definierten Speicher werden die atmoshpärisch relevanten CO_2-Emissionen und deren Einbindungen ermittelt (lebende Biomasse 1 und Holzprodukte 2).

Abbildung 84: 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.

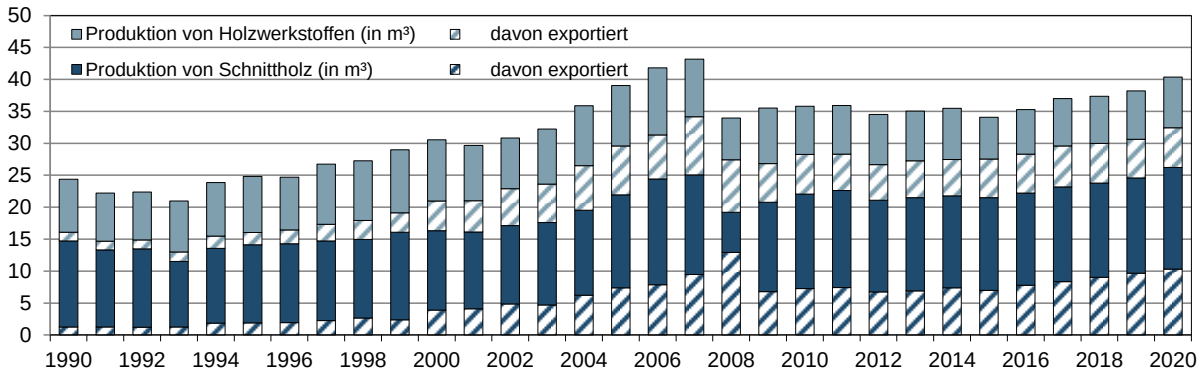
6.10.2 Methodische Aspekte (4.G)

6.10.2.1 Aktivitätsdaten

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts (09/2022) lagen die für die Berechnung notwendigen Aktivitätsdaten für das Jahr 2021 zu Holzprodukten in der FAOSTAT Datenbank (FAO, 2022a) noch nicht vor, weshalb für die Schilderung des methodischen Vorgehens für die Zeitreihen aus dieser Quelle die Vorjahresdaten herangezogen werden.

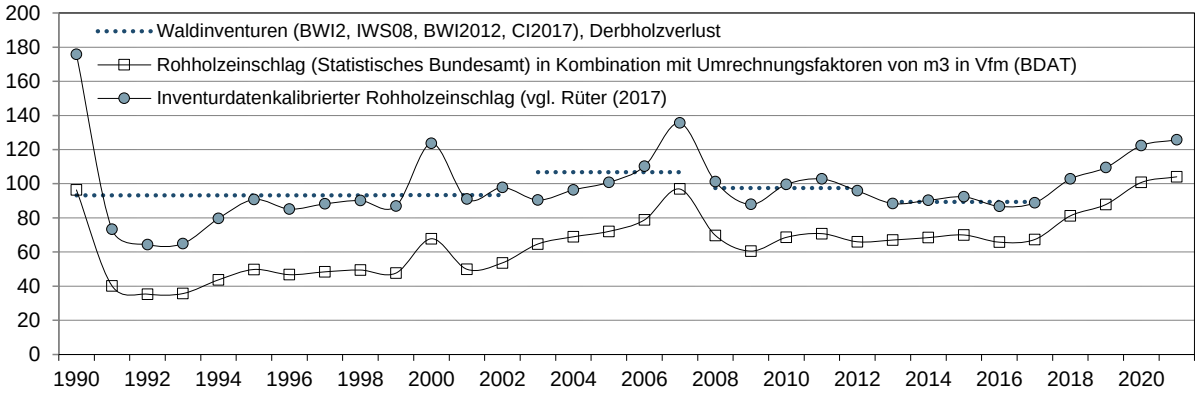
Abbildung 85 zeigt die Entwicklung der Produktionsmengen der Holzhalbwarengruppen Schnittholz und Holzwerkstoffe, getrennt nach den in Deutschland verbleibenden (Produktion abzüglich Export) und den exportierten Holzmengen (Export) seit 1990 nach den Daten der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAO, 2022b). Diese Zeitreihen entsprechen den in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006a) vorgeschlagenen Daten für die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten auf Basis einer Tier-1-Berechnung (Kap. 12.2.1, IPCC (2006a): 12.9).

Abbildung 85: In Deutschland produziertes Schnittholz und Holzwerkstoffe [Mm³] (FAO, 2022b)



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 86) , 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. 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 86: 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)



Aufgrund der zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts (09/2022) ebenfalls noch fehlenden Daten zur Holzrohstoffkategorie Industrierohholz (industrial roundwood) in der FAOSTAT-Datenbank, wurde der darauffolgende zweite Schritt zur Bestimmung eines heimischen Rohstofffaktors $f_{DP}(i)$ für die Halbwarenkategorien Schnittholz und Holzwerkstoffe nicht aktualisiert.

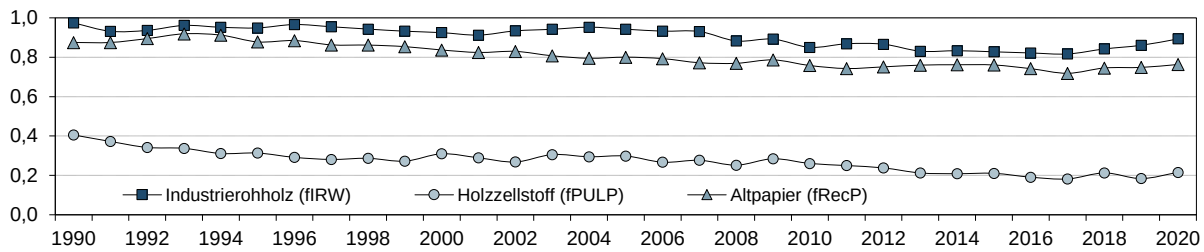
In einem zweiten Schritt wurde ein heimischer Rohstofffaktor $f_{DP}(i)$ bestimmt, der für die Halbwarenkategorien Schnittholz und Holzwerkstoffe auf den FAO-Daten zur Holzrohstoffkategorie Industrierohholz (industrial roundwood) basiert. Für die Berechnung des aus heimischem Einschlag stammenden Anteils 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 87). 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 87: Entwicklung des heimischen Rohstofffaktors fDP(i) der berücksichtigten Rohstoffkategorien (FAO, 2022b)



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 433), 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 433: 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 (2006a):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. Allerdings lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts (09/2022) gemäß des festgelegten Routineablaufs der Inventarerstellung (s. Kapitel 1.2.3) die für die Berechnung notwendigen Aktivitätsdaten für Holzprodukte noch nicht vor (vgl. (FAO, 2022a)), weshalb die Zeitreihen zu CO_2-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten für das Jahr 2021 fortgeschrieben werden.

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)

Da zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts (09/2022) die für die Berechnung notwendigen Aktivitätsdaten für das Jahr 2021 zu Holzprodukten in der FAOSTAT-Datenbank (FAO, 2022a) noch nicht vorlagen, wurden keine kategoriespezifischen Rückrechnungen vorgenommen.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

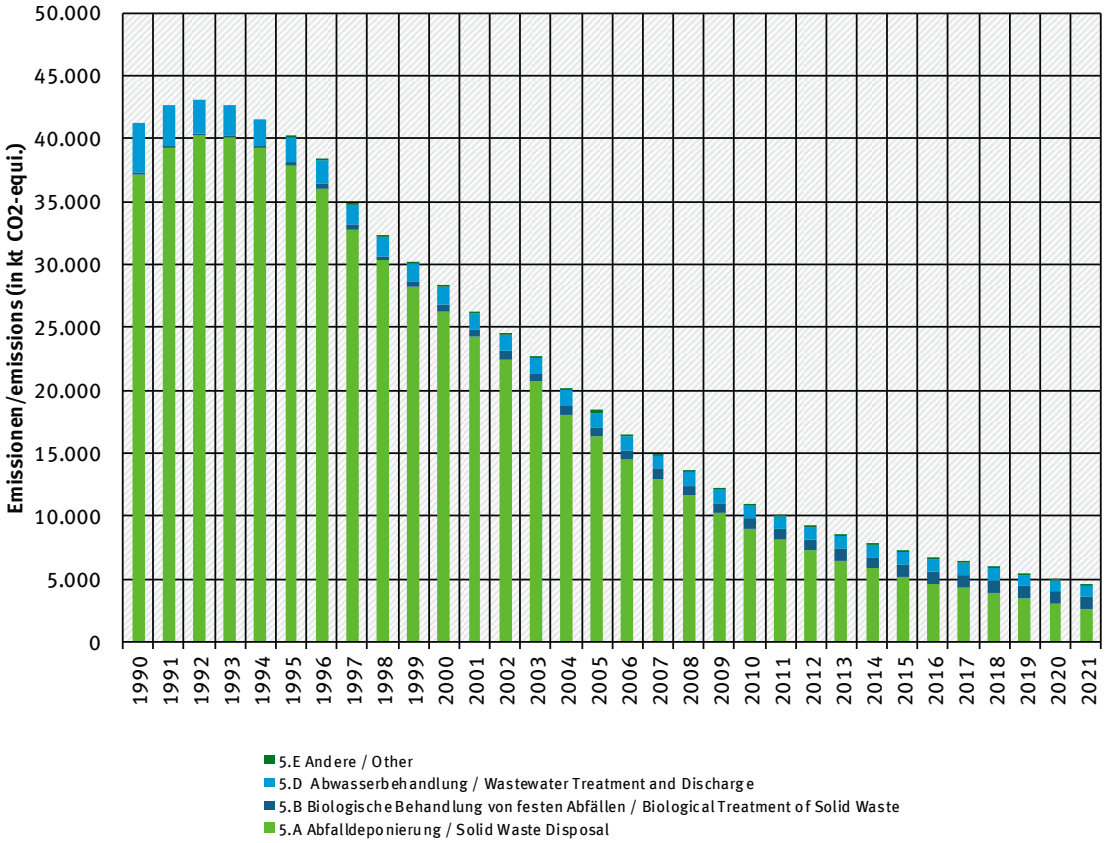
6.11 Andere Bereiche (4.H)

Unter 4.H werden behelfsmäßig N_2O-Emissionen, die durch die Bewirtschaftung organischer Böden verursacht werden, aus der Kategorie *Settlements* (108,8 kt CO_2 eq. nach IPCC AR5 für 2021) 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).

7 Abfall und Abwasser (CRF Sektor 5)

7.1 Übersicht (CRF Sektor 5)

Abbildung 88: 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
L/T	5 A, Solid Waste Disposal		CH_4	37.191,3	2,9 %	2.574,2	0,3 %	-93,1 %

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.

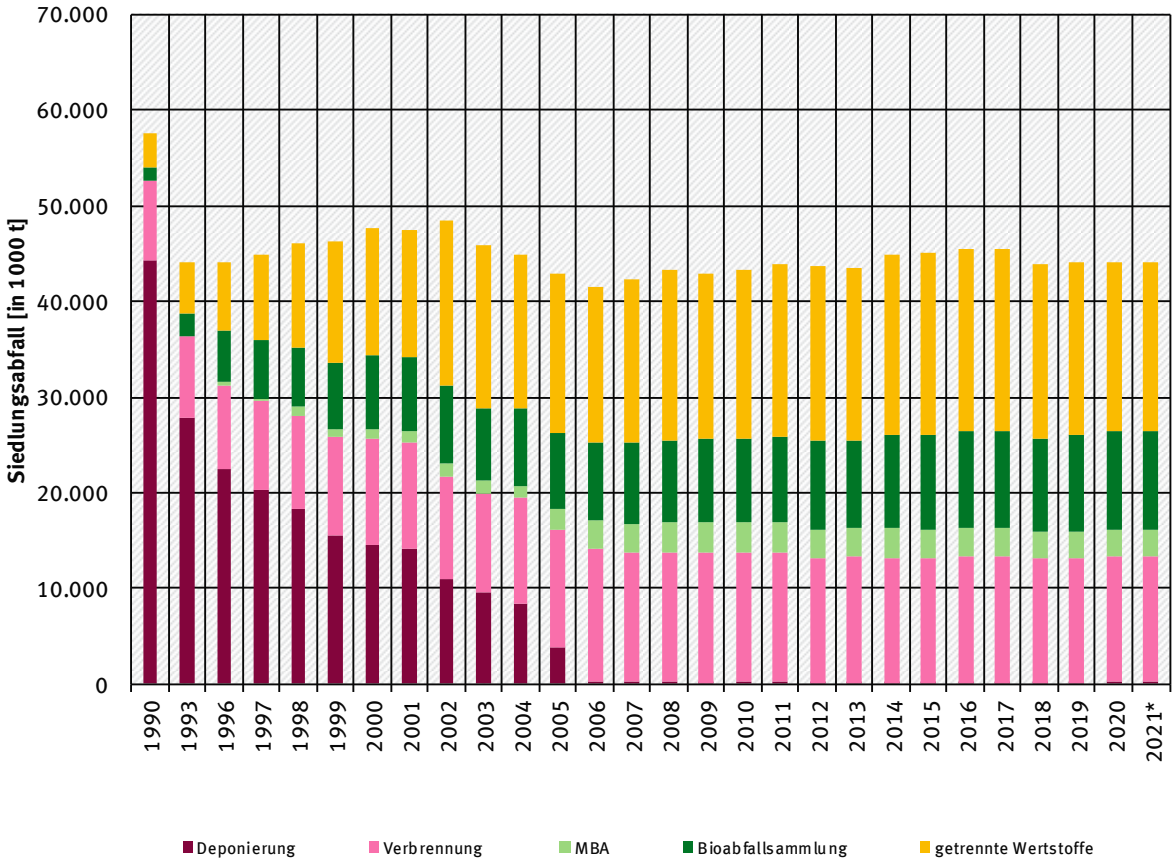
7.2.1 Geordnete Deponierung – Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A.1)

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 89). 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 89: 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. 90 kt im Jahr 2021 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, 2006a): *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 59: (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 60: (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, 2006a) 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 61: (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 62: (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, 2006a) widerspiegelt:

Gleichung 63: *(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, 2006a) 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 soll gemäß der 2006 IPCC Guidelines (ebd.) differenziert nach Abfallarten geschätzt werden, da die Emissionsberechnungen im Weiteren darauf basieren, dass die einzelnen Abfallarten unterschiedliche DOC,DOC_f und k-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, jährlich - FS 19, R. 1) veröffentlicht. Die Veröffentlichung der FS 19, R1 wurde danach eingestellt. Die für die Berichterstattung erforderlichen Daten ab 2019 werden vom Statistischen Bundesamtin

GENESIS-Online veröffentlicht und parallel dem Umweltbundeamt 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 Klärschlammengen 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.

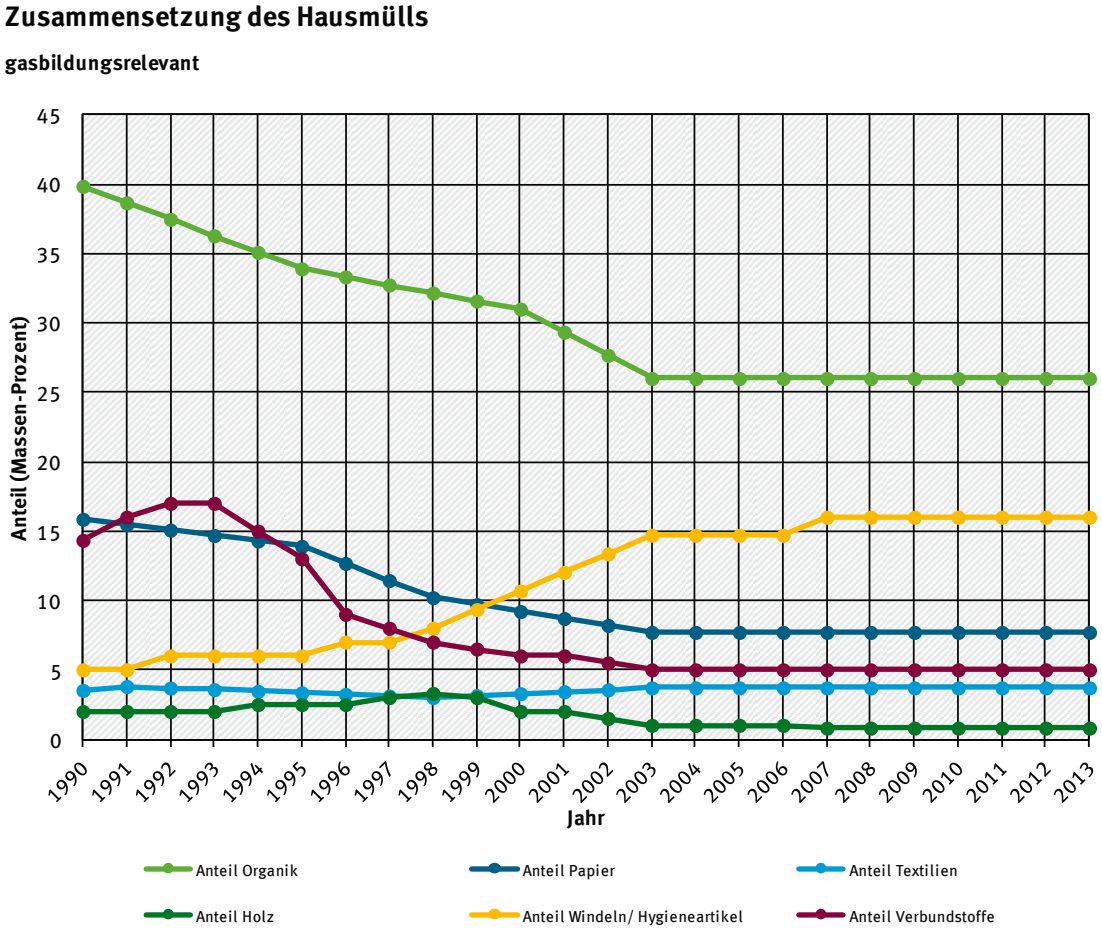
7.2.1.2.2 Abfallzusammensetzung

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 90) 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 gemischten 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 90: 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 434 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 434 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 434: Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, nach Abfallfraktionen

Abfallfraktion	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Organik	[kt]	16.844	7.515	3.202	813	6	1	2	1	0	0	1	2
Garten- und Parkabfälle	[kt]	0	0	54	26	0	0	0	0	2	0	0	0
Papier	[kt]	9.095	4.372	1.421	426	7	1	4	9	8	5	5	6
Holz	[kt]	2.658	1.889	1.037	238	0	0	0	0	0	0	0	0
Windeln + Textilien	[kt]	3.572	2.082	2.241	519	5	2	3	2	2	1	2	2
Verbundstoffe	[kt]	5.587	2.644	621	155	1	0	0	0	0	0	0	0
Klärschlamm	[kt]	2.494	1.024	452	634	27	81	57	16	26	40	29	30
MBA-Output	[kt]	0	0	370	1170	991	714	618	610	515	508	505	502

2011/12 wurden die Restgasemissionen aus der Ablagerung mechanisch-biologische behandelter Abfälle in einem Sachverständigengutachten (Stegmann, 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 435 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 435: Pro-Kopf-Mengen an deponiertem Hausmüll

	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,60	0,85	0,55	0,18	0,04
	Einheit	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
	Einheit	**2020**	**2021**			
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,02	0.03			

Tabelle 436: Pro-Kopf Mengen an Siedlungsabfall

	Einheit	1995	2000	2005	2010	2015
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,71	1,78	1,57	1,68	1,72
	Einheit	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,73	1,71	1,66	1,67	1,68
		2021				
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,69				

7.2.1.2.3 MCF (Methankorrekturfaktor)

Abfälle wurden in der Bundesrepublik Deutschland bis zur Schaffung des ersten Abfallgesetzes 1972 zumeist auf ungeordnete Deponien verbracht, 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, 2006a), 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, 2006a) 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.

Aktuelle Ergebnisse zu den biologischen Abbauprozessen auf Deponien (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173) deuten an, dass insbesondere der aerobe Kohlenstoffabbau sich deutlich reduzierend auf die Methanbildung auswirkt und ggf. über den Faktor MCF stärker berücksichtigt werden könnten (Stegmann et al., 2018), Kap. 4.1.4, S. 68ff). Die Effekte sind aber vergleichsweise gering und könnten nur sehr grob geschätzt werden. Aus diesem Grund können keine Anpassungen beim Faktor MFC vorgenommen werden. Stattdessen wird der Sachverhalt in den Unsicherheiten des MCF entsprechend berücksichtigt.

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 437 enthalten.

Auf Basis von Reviewergebnissen aus dem ARR 2015/2016 und 2018 bemühte sich Deutschland intensiv darum die Quellen für die in Tabelle 437 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, 2006a). 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.
- Bis zur Berichterstattung 2022 wurde für den DOC für Organik ein nationaler Wert mit 18% (Wallmann, 1999) verwendet. Neuere Untersuchungen auf Deponien (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173) belegen, dass der Default-Wert mit 15% besser mit der realen Deponiegasbildung korreliert. Ab der Berichterstattung 2023 wird daher mit einem DOC von 15% gerechnet. von.
- 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, 2006a) 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, 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.

Aktuelle Forschungsergebnisse (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173) bestätigen die DOC-Werte weitgehend; eine Anpassung wird nur für die Organik-Frakton empfohlen. Bis einschließlich der Berichterstattung 2022 wurde für Organik ein nationaler DOC-Wert von 18% eingesetzt, mit der Berichterstattung 2023 wird entsprechend der Empfehlung der DOC mit 15% an den IPCC Default-Wert angepasst.

Tabelle 437: Verwendete DOC-Werte

Fraktion	DOC-Werte			Quelle
	IPPC 2006 Default (wet waste)	Verwendet		
		bis NIR 2022	ab NIR 2023	
Organik	15 %	18%	**15%**	(Wallmann, 1999) (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Garten- und Parkabfälle	20 %	**20%**		Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006a)
Papier und Pappe	40 %	**40%**		Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006a)
Holz und Stroh	43 %	**43%**		Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006a)
Textilien	24 %	**24%**		Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006a)
Windeln	24 %	**24%**		Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006a)
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, 2012)

7.2.1.2.5 DOC_F

DOC_F, der Anteil des in Deponiegas umwandelbaren DOC, wurde bis einschließlich der Berichterstattung 2022 für alle Abfallfraktionen mit 50 % angenommen. Dieser Wert liegt im Rahmen der IPCC Defaults von 0.5 (Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a)).

Der DOC_f für die Fraktion Holz und Stroh wird in der Berichterstattung 2023 nach neueren Studien und Auswertungen ((Stegmann et al. (2018)Stegmann et al, 2018, S. 68-73)angepasst und für die übrigen Fraktionen wie bisher mit 0,5 angenommen, was den IPCC Defaults entspricht. Die genannten Literaturstellen lassen auf ein Gasbildungspotenzial von Holz im Bereich von 21 – 57 m^3/Mg FM schließen, während die bisher im NIR verwendeten Defaultwerte einem Gasbildungspotenzial für Holz von 402 m^3/Mg FM entsprechen. Die biologische Verfügbarkeit und der Kohlenstoffabbau unter anaeroben Milieubedingungen ist demnach derart gering, dass der DOC_f -Wert für Holz (die Masse an Stroh ist bei der Deponierung von untergeordneter Bedeutung) von 50 % auf 10 % abgesenkt wird (Stegmann et al., 2018), S. 26), der DOC für Organik, Garten- und Parkabfälle, Papier und Pappe, Textilien, Windel, Verbundstoffe, Klärschlamm und MBA Abfälle wird durch die Studie bestätigt.

Tabelle 438: Verwendete DOC_F-Werte

Fraktion	DOC_F-Werte			Quelle
	IPPC 2006 Default (wet waste)	Verwendet		
		bis NIR 2022	ab Nir 2023	
Organik	0,5		0,5	(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999)(Wallmann, 1999) (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Garten- und Parkabfälle			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Papier und Pappe			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Holz und Stroh		0,5	0,1	(Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Textilien			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Windeln			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Verbundstoffe			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
Klärschlamm			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)
MBA Abfälle			0,5	Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006a) und (Stegmann et al., 2018), S. 172 - 173)

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 439: Anteil CH_4 am Deponiegas

Anteil CH_4 am Deponiegas	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Deponien in Ablagerungs- und Stillegungsphase	49 %	50 %	49 %	48 %	48 %	47 %	45 %	42	41%
Deponien in Nachsorgephase	k.A.	k.A.	k.A.	42 %	40 %	38 %	32 %	32 %	32%

Quelle: (Statistisches Bundesamt, 2018) , Tabelle 1.5

In den letzten Jahren sind die Methankonzentrationen im gefassten Deponiegas (Tabelle 439) allerdings rückläufig. Dieser Rückgang der Methankonzentrationen ist vermutlich auf Oxidationseffekte die durch das Gasfassungssystem verursacht 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 und die daraus abgeleiteten k-Werte (Methan-Erzeugungsraten) der verschiedenen Abfallfraktionen berücksichtigt. Tabelle 440 dokumentiert die verwendeten Halbwertszeiten sowie die Methanerzeugungsrate (k-Wert) 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 64 abgeleitet werden.

Neue Untersuchungen und Auswertungen führen dazu, dass die bisher angesetzten Halbwertszeiten und resultierenden k-Werte für die Fraktion Papier / Pappe und Holz angepasst werden (Stegmann et al., 2018) ,Kap. 8.3, S. 145). So wurde die Fraktion Papier in der Deponie in der Regel deutlich schneller biologisch abgebaut als es die Default-Halbwertszeit von 12 Jahren wiedergibt. Zahlreiche Untersuchungen an Deponien in Deutschland haben bestätigt, dass im Deponiekörper sehr viel weniger Papier vorhanden ist, als es nach den abgelagerten Massen und der von der Halbwertszeit geprägten Abbaugeschwindigkeit gemäß dem bisherigen NIR-Ansatz zu erwarten wäre bzw. noch vorhanden sein müsste. Zur Anpassung an die ermittelten Bedingungen im Deponiekörper wurde die Halbwertszeit für Papier von 12 auf 7 Jahre reduziert, was eine Veränderung des k-Werts von 0,058 auf 0,099 bedeutet (Stegmann et al. 2018).

Erkundungsbohrungen und Schürfe auf Deponien wie auch Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass die Holzfraktion unter anaeroben Bedingungen kaum abgebaut wird, zumal wenn es sich um grobstückige Holzbestandteile handelt, die für die Mikroorganismen nicht zugänglich sind. Der biologische Abbau erstreckt sich nach den vorliegenden Ergebnissen wie auch ergänzenden Laboruntersuchungen zudem über einen deutlich längeren Zeitraum, als es mit der bisher angesetzten Halbwertszeit von 23 Jahren prognostiziert wurde. Holz ist - wenn überhaupt unter anaeroben Milieubedingungen - nur unter sehr hohen Halbwertszeiten abbaubar. Daher wurde die Halbwertszeit von 23 auf 50 Jahre erhöht, was einer Veränderung des k-Werts von 0,030 auf 0,014 entspricht (Stegmann et al., 2018).

Zur Berechnung werden für Nahrungsmittelabfälle, Garten-/Parkabfälle, Textilien/Windel und Klärschlamm über die gesamte Zeitreihe an den IPCC Default-Werten orientierte nationale Werte unverändert genutzt. Für Verbundstoffe und Abfälle aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) werden nationale Werte angewandt, da die Guidelines keine Default

Werte enthalten. Aktuelle Forschungsvorhaben (Stegmann et al., 2018) bestätigen diese nationalen Werte. Wegen mathematischer Ungenauigkeiten zwischen Halbwertzeiten und k-Werten (bei Organik und Klärschlamm) in Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 der IPCC-Richtlinien 2006 begründen sich geringe Unterschiede zwischen einer Berechnung der Methanbildung auf Basis von k-Werten und Halbwertzeiten - die deutsche Vorgehensweise wurde im ARR 2022 als korrekt bestätigt.

Gleichung 64: (2006 IPCC Guidelines)

$$k = \ln 2 / t_{1/2}$$

Tabelle 440: Halbwertszeiten und konstante Methanerzeugungsrate der Abfallfraktionen

Abfallart	Halbwertszeit (Jahre)			CH4 Erzeugungsrate (k-Wert)		
	IPCC Default Wert*	Nationaler Wert		IPCC Default Wert*	Nationaler Wert	
		bis NIR 2022	ab NIR 2023		bis NIR 2022	ab NIR 2023
Organik	4	**4**		0.185	**0,173**	
Garten/Parkabfälle	7	**7**		0,1	**0,099**	
Papier / Pappe	12	12	**7**	0,06	0,058	**0,099**
Holz	23	23	**50**	0,030	0,030	**0,013**
Textilien / Windeln	12	**12**		0,06	**0,058**	
Verbundstoffe	--	**12**		---	**0,058**	
Klärschlamm	4	**4**		0.185	**0,173**	
MBA-Abfälle	--	**12**		--	**0,058**	

* Wet temperate

7.2.1.2.8 Deponiegasnutzung

Mit der TA Siedlungsabfall von 1993[130] 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 statistischen 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.

[130] Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von >Siedlungsabfälle (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993

Die in Tabelle 441 gelisteten gefassten Methanmengen beinhalten die energetsch genutzen und die abgefackelten Deponiegasmengen.

Tabelle 441: Methanfassung auf Deponien

Jahr	Methanbildung in Gg	Gefasste Methanmenge in Gg			Erfassungsrate in %
		Ablagerungs- u. Stillegung-sphase in Gg	Nachsorgephase in Gg	Gesamtmenge in Gg	
1990	1567			91	5,8
1991	1662			101	6,1
1992	1709			111	6,5
1993	1714			120	7,0
1994	1685			129	7,7
1995	1640			138	8,4
1996	1581			150	9,5
1997	1507			206	13,6
1998	1423			221	15,5
1999	1343			222	16,6
2000	1265			223	17,6
2001	1183			221	18,7
2002	1109			218	19,7
2003	1035			215	20,8
2004	965	236	11	247	25,6
2005	897			247	27,6
2006	818	231	11	242	29,6
2007	735			220	30,0
2008	662	190	11	201	30,4
2009	597			191	32,0
2010	539	171	11	181	33,6
2011	487			167	34,3
2012	441	140	14	154	35,0
2013	401			143	35,9
2014	364	121	13	134	36,8
2015	332			126	37,9
2016	303	107	11	118	39,0
2017	277			107	38,6
2018	253	85	12	97	38,2
2019	232			96	41,4
2020	213			95	44,6
2021	196			94	47,8

Quelle: (Statistisches Bundesamt, jährlich - FS 19, R. 1)

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 prozentuale 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 Methanmenge 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 2010 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 2020 wurden mit dem Deponiegas 95 Gg Methan erfasst, von denen ein nicht für die energetische Nutzung geeigneter Anteil von rd 24 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 %. Nach Einschätzung von Experten des Umweltbundesamtes ist aufgrund der hohen Temperaturen die Bildung von N_2O im Verbrennungsprozess nicht zu erwarten, die Emission von Stickstoffoxiden erfolgt unter diesen Reaktionsbedingungen als NO und NO_2.

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, 2006a). Eine einmalig durchgeführte quantitative Abschätzung der somit nicht im Inventar berücksichtigten Emissionen aus Deponiegas-Fackeln ergibt eine Menge von etwa 0,67 kt CO_2-äquivalent. Eine Zusammenstellung aller als not estimated erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Annex 5 (Anhang-Kapitel 18) 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.

Unsicherheiten der gewählten Parameter zur Methanbildung

Aufgrund der umfangreichen länderspezifischen Auswertungen und der Anpassung der Parameter zur Methanbildung können die Unsicherheiten bezüglich der Gasbildung wie folgt abgeschätzt werden (Stegmann et al., 2018) , Kap. 9, S. 161):

- Unsicherheiten bezüglich DOC_f:
- ± 20% bei Default-Werten, ± 10 % nach Anpassung der Werte
- Unsicherheiten bezüglich Methanbildungspotenzial DDOCM (Gleichung 65)
- ± 20% bei Default-Werten, bis -40% bei Holz, in Abhängigkeit der Holzart
- Unsicherheiten bezüglich MCF = 1 für die BRD nach 1972 und für das gesamte Bundesgebiet ab 1990: -38%, + 0%
- Unsicherheiten bezüglich MCF = 0,6 für die BRD bis 1972 und für das gesamte Bundesgebiet bis 1989: ± 25%
- Unsicherheiten bezüglich Anteil Methan im Deponiegas F = 0,5: + 30%, - 0%
- Unsicherheiten bezüglich k-Wert:
  - Organik (food waste) sowie Klärschlamm (sewage sludge): + 25%, - 0%
  - Papier und Pappe (paper): + 45%, - 0%
  - Holz und Stroh (wood and straw): + 45%, - 0%
  - Textilien (textiles), Windeln (disposable nappies), Verbundmaterialien: + 40%, - 0%

Nach qualifizierter Schätzung des Experten des Umweltbundesamtes liegen die Unsicherheiten für die Gesamtemissionen von Methan aus Deponien bei ± 20 %

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 2022 mit 0,47 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).

International 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 und Japan stehen im IEF-Vergleich dementsprechend an dritter bzw. vierter Stelle und weisen mit 0,28bzw. 0,20 einen im Verhältnis ähnlich hohen Wert wie Deutschland auf.

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..

In den letzten Jahren verstärkten 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 wurden. Das Umweltbundesamt hatte daher zwei Forschungsprojekte vergeben, die diesen Sachverhalt untersucht und nationale Werte für die DOC und DOC_f-Werte, sowie die Halbwertszeiten und k-Werte ermittelt haben. Die

wesentlichen Ergebnisse dieser beiden Forschungsprojekte sind in diesen Nationalen Inventarbericht 2023 eingeflossen (Stegmann et al., 2018).

Aufgrund der umfangreichen Auswertungen und Untersuchungen an Deponien in Deutschland wurden für einige Fraktionen die DOC und DOC_f-Werte, sowie die Halbwertszeiten und k-Werte folgendermaßen angepasst:

Fraktion Organik	Anpassung DOC von 0,18 auf 0,15
Fraktion Holz und Stroh:	Anpassung DOC_f von 0,5 auf 0,1
	Anpassung Halbwertzeit $t_{½}$ von 23 auf 50 Jahre
	damit Anpassung k-Wert von 0,030 auf 0,014
Fraktion Papier:	Anpassung Halbwertzeit $t_{½}$ von 12 auf 7 Jahre
	damit Anpassung k-Wert von 0,058 auf 0,099

Mit der Anwendung dieser Werte verringert sich die für das Jahr 2020 errechnete jährliche Methanbildung gegenüber der Berichterstattung 2022 von 383 Gg/a auf 213 Gg/a und die Methanemissionen von 271 Gg/a auf 106 Gg/a. Die Änderungen über die Zeitreihe ab 1990 sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 442: Rekalkulation: Methan-Bildung in Deponien [kt]

Jahr	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
NIR 2022	1614	1738	1423	1094	741	523	383	-
NIR 2023	1567	1640	1265	897	539	332	213	196

Tabelle 443: Rekalkulation: Methan-Emissionen aus Deponien [kt]

Jahr	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
NIR 2022	1368	1433	1056	762	504	357	271	-
NIR 2023	1328	1352	938	584	322	185	106	92

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/T	5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH_4	59,4	0,0 %	791,0	0,1 %	1232,0 %
-/-/2	5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N_2O	19,7	0,0 %	184,3	0,0 %	837,1 %

Die Kategorie *Biologische Abfallbehandlung* ist eine Hauptkategorie für CH_4-Emissionen nach dem Trend sowie für N_2O-Emissionen nach der Methode-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 biologisch abbaubare 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, 2006a) 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, GENESIS-Online, Tabelle 32111-0003)[131]. 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 (Statistisches Bundesamt, direkte Datenübermittlung,) herangezogen und auf die eingesetzte Abfallmenge angewendet.

[131] https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=32111-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1630573034654#abreadcrumb

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 vorhergehender 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 EFs 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

$EF\text{-}N_2O$ = 49 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.

Nach einer Umstellung im Rahmen der Berichterstattung 2023 sind in den nationalen Emissionsfaktoren nur noch die Emissionen aus der Behandlung in den Kompostierungsanlagen enthalten. Die Emissionen, die bei der Ausbringung der Komposte auftreten, werden seit dieser Umstellung in der Kategorie 3.D.a.2.c bzw. 3.D.b berichtet. Diese Änderung geht auf das Reviewergebnis A.8 (Table 5, ARR 2020) zurück, dass zu mehreren Fachgesprächen zwischen den zuständigen Experten aus der Landwirtschaft und der Kompostierung geführt hat. In deren Ergebnis wurde beschlossen, dass die Emissionen aus der Ausbringung des Kompostesaus fachlichen Gesichtspunkten in der Landwirtschaft zu berichten sind und nicht bei der KompostierungDer Emissionsfaktor für Methan ändert sich durch diese Umstellung nicht, da die Methanemissionen während und nach der Ausbringung des Kompostes generell vernachlässigbar sind. Der neue Emissionsfaktor für Lachgas gilt, wie oben beschrieben, nur für die Behandlung und reduziert sich dadurch deutlich gegenüber dem bisher verwendeten Faktor, der auch die Ausbringung der Komposte umfasste. Emisionen aus der Lagerung der Komposte auf dem Gelände der Behandlungsanlage sind in den hier verwendeten Emissionsfaktoren enthalten.

Nach Cuhls et al. liegt der N_2O-Emissionsfaktor für die Kompostierung von Bioabfällen bei 49 g N_2O/t Bioabfall und damit leicht unterhalb der Spanne des IPCC-Defaultfaktors von 60 - 600 g. Der IPCC-Defaultfaktor für die Kompostierung liegt bei 300 g N2O/t Bioabfall (Vol. 5, Kap. 4.1.3.1).

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. Zur Bestimmung der Unsicherheiten wurden die Ergebnisse des o.g. Forschungsprojektes als Grundlage genutzt ((Cuhls et al., 2015) S. 120) aus denen eine Lognormal-Verteilung der Messergebnisse abgeleitet werden kann. Für CH_4 wurde eine Unsicherheit von +272 % bis -87 % und für N_2O von +123,5 % bis -64 % ermittelt.

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 & 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 0,049 g N_2O/kg Abfall unter dem Defaultwert von 0,3 g und auch leicht unterhalb 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 2022). Der IEF für Methan liegt in vergleichbarer Größenordnung wie der Wert aus Italien und Österreich und über dem Wert von Belgien. Der IEF für Lachgas ist der niedrigste der berichtenden Länder – die Gründe hierfür wurden im vorhergehenden Absatz dargelegt.

Ein für die Berichterstattung 2022 durchgeführte Vergleich der verwendeten Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 444) mit technologisch vergleichbaren Ländern(Österreich, Belgien, der Schweiz und Italien) zeigt, dass der deutsche CH_4-EF im Mittelfeld liegt. Für Lachgas liegt der EF etwas niedriger als der von Belgien und der Schweiz aber ebenfalls in der gleichen Größenordnung.

Tabelle 444: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Kompostierung

EF in g/t	Deutschland	Österreich	Belgien	Schweiz	Italien
Methan CH_4	1400	1820	750	1840	1630
Lachgas N_2O	49	250	100	90	600

Quelle: aktuelle Berichterstattung für Deutschland, für andere Länder Berichterstattung 2022 (UNFCCC, 2020)

7.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.1)

Die in 7.3.1.2 beschriebene Umstellung des Emissionsfaktors für N_2O führt zu einer deutlichen Reduzierung des Faktors von 74 g N_2O/t Bioabfall auf 49 g N_2O/t Bioabfall. Daraus folgt eine Rückrechnung der gesamten Zeitreihe der N_2O-Emissionen aus der Kompostierung von Bioabfall. Dies führt zu einer Reduzierung der N2O-Emissionen über die Zeitreihe um etwa ein Drittel.

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 zwei Jahren Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher, wie oben bereits beschrieben 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 ist ein Übertragungsfehler aufgefallen - der Wert für die eingesetzten Bioabfälle für das Jahr 1990 war fälschlicherweise für 1991 eingetragen. Der Fehler wurde korrigiert. Für 1991 und 1992 existieren keine statistischen Angaben, weshalb die Werte interpoliert werden. Die Korrektur hat eine deutliche Erhöhung der Emissionen für 1990 zur Folge (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 445: Rückrechnungen CRF 5.B.1

Bezeichnung	Einheit	NIR	1990	1991	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Eingesetzte Abfallmengen in Kompostierungsanlagen (GESAMT)	[kt]	2023	1.515	1.809	2.103						9133,5
		2022	724	1.515	1.956						8807,6
Lachgas-Emissionsfaktor	[g/t]	2023	49	49	49	49	49	49	49	49	49
		2022	74	74	74	74	74	74	74	74	74
CH_4-Emissionen	[t]	2023	2.121,00	2.532,60	2.944,20						12786,90
		2022	1.013,60	2.121,00	2.738,40						12330,70
N_2O-Emissionen	[t]	2023	74,24	88,64	103,05	253,25	442,45	435,40	421,82	433,67	447,54
		2022	53,58	112,11	144,74	382,45	668,19	657,54	637,04	654,94	651,76

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 biologisch abbaubare 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.

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, direkte Datenübermittlung, Tabelle 1.5). Die Methanemissionen aus der Verbrennung des Biogases zur Energiegewinnung werden im Energiesektor unter 1.A.1.a berichtet.

Die erzeugten Gärreste, 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 gewann seitdem 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, direkte Datenübermittlung, 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, GENESIS-Online, Tabelle 32111-0003)[132]. 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 (Statistisches Bundesamt, direkte Datenübermittlung) 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 vorhergehender 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.

[132] https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=32111-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1630573034654#abreadcrumb

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 EFs 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

$EF\text{-}N_2O$ = 45 g N_2O/t Bioabfall

Nach einer Umstellung im Rahmen der Berichterstattung 2023 sind in den nationalen Emissionsfaktoren nur noch die Emissionen aus der Behandlung in den Vergärungsanlagen enthalten. Die Emissionen, die bei der Ausbringung der Gärreste auftreten, werden seit dieser Umstellung in der Kategorie 3.D.a.2.c bzw. 3.D.b berichtet. Diese Änderung geht auf das Reviewergebnis A.8 (Table 5, ARR 2020) zurück, dass zu mehreren Fachgesprächen zwischen den zuständigen Experten aus der Landwirtschaft und der Vergärung geführt hat. In deren Ergebnis wurde beschlossen, dass die Emissionen aus der Ausbringung der Vergärungsreste aus fachlichen Gesichtspunkten in der Landwirtschaft zu berichten sind und nicht bei der Vergärung. Der Emissionsfaktor für Methan ändert sich durch diese Umstellung nicht, da die Methanemissionen während und nach der Ausbringung des Gärrestes generell zu vernachlässigen sind. Der neue Emissionsfaktor für Lachgas gilt, wie oben beschrieben, nur für die Behandlung und reduziert sich deutlich gegenüber dem bisher verwendeten Faktor, der auch die Ausbringung der Gärreste umfasste.Emisionen aus der Lagerung der flüssigen und der kompostierten festen Gärreste auf dem Gelände der Behandlungsanlage sind in den hier verwendeten Emissionsfaktoren enthalten. . Nach Cuhls et al. liegt der N_2O-Emissionsfaktor für die anaerobe Vergärung bei 45 g N2O/t Bioabfall:

Für die anaerobe Vergärung gibt es keinen IPCC-Defaultfaktor, da dort angenommen wird, dass die N2O-Emissionen vernachlässigbar sind.

Informationen zu Emissionen aus Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger 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. Zur Bestimmung der Unsicherheiten wurden die Ergebnisse des o.g. Forschungsprojektes als Grundlage genutzt ((Cuhls et al., 2015) S. 120) aus denen eine Lognormal-Verteilung der Messergebnisse abgeleitet werden kann. Für CH_4 wurde eine Unsicherheit von +179 % bis -76 % und für N_2O von +185,5 % bis -77 % ermittelt.

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

2022) - die Werte bewegen sich in einem extrem breiten Spektrum, Vergleichbarkeit ist nicht gegeben.

Ein für die Berichterstattung 2022 durchgeführter Vergleich der deutschen Emissionsfaktoren für Methanemissionen aus Bioabfallvergärungsanlagen mit technologisch vergleichbaren Ländern (Italien und Portugal) zeigt, dass diese mit Emissionsfaktoren von jeweils 2000 g pro Tonne Bioabfall leicht unterhalb von dem in Deutschland verwendeten Wert von 2800 g pro Tonne liegen.

Über Lachgasemissionen aus Vergärungsanlagen wird von keinem der Länder berichtet.

Tabelle 446: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Vergärung

EF in g/t	Deutschland	Italien	Portugal
Methan CH_4	2800 (5,7%)	2000	2000
Lachgas N_2O	45	-	-

Quelle: aktuelle Berichterstattung für Deutschland, für andere Länder Submission 2022 (UNFCCC, 2020)

7.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.2)

Die in 7.3.2.2 beschriebene Umstellung des Emissionsfaktors für N_2O führt zu einer deutlichen Reduzierung des Faktors von 67 g N_2O/t Bioabfall auf 45 g N_2O/t Bioabfall. Daraus folgt eine Rückrechnung der gesamten Zeitreihe der N_2O-Emissionen aus der Vergärung von Bioabfall. Dies führt zu einer Reduzierung der N2O-Emissionen über die Zeitreihe um etwa ein Drittel.

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 zwei Jahren Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher, wie oben bereits beschrieben 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.

Tabelle 447: Rückrechnungen CRF 5.B.2

Bezeichnung	Einheit	NIR	1998	2000	2005	2010	2015	2020
Eingesetzte Abfallmengen in Biogas- und Vergärungsanlagen (GESAMT)	[kt]	2023						5570,0
		2022						5792,2
Lachgas-Emissionsfaktor	[g/t]	2023	45	45	45	45	45	45
		2022	67	67	67	67	67	67
CH_4	[t]	2023						15596,00
		2022						16218,22
N_2O	[t]	2023	13,49	41,21	113,44	153,76	244,60	250,65
		2022	20,08	61,35	168,90	228,93	364,19	388,08

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 3.2.3) 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(Statistisches Bundesamt, 2022h). Wegen des steigenden Anteils an Feuerbestattungen (BDB, 2022) und damit steigender absoluter Anzahl (siehe Tabelle 448) 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 448: Rechnerische Anzahl der Kremierungen in Deutschland

Kremierungen	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Anzahl (in Tausend)	169	316	328	365	427	574	710	752

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 und Verboten bei hoher Waldbrandgefahrwurde die Modellierung von wesentlich weniger Brauchtumsveranstaltungen realisiert. In Gegensatz zu Lagerfeuern im eher privaten Bereich sind davon vor allem die Osterfeuer im eher öffentlichen Bereich betroffen. Die Berechnungen werden separat betrachtet und die Lagerfeuer mit einem stetigen Rückgang modelliert. Die Osterfeuer folgen einem Ansatz über allgemeine prozentuale Abnahmen und zusätzlichen Abschlägen entsprechend diverser Absagen .

Rekalkulationen waren nicht notwendig.

Es sind keine weiteren Verbesserungen geplant.

7.5 Abwasserbehandlung (5.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/T	**5 D 1, Domestic Wastewater**		**CH_4**	**2.870,8**	**0,2 %**	**487,0**	**0,1 %**	**-83,0 %**
-/-/2	**5 D 1, Domestic Wastewater**		**N_2O**	**1.029,3**	**0,1 %**	**348,2**	**0,1 %**	**-66,2 %**
-/-	5 D 2, Industrial Wastewater		CH_4	10,4	0,0 %	53,8	0,0 %	419,4 %
-/-	5 D 2, Industrial Wastewater		N_2O	28,1	0,0 %	23,8	0,0 %	-15,2 %

Die Kategorie *Abwasserbehandlung - Kommunale Abwasserbehandlung* ist für CH_4-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trendsowie für N_2O-Emissionen nach der Methode-2-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 449: 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, dreijährlich - FS 19, R. 2.1.3). 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 (2006d): 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. 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. Ab dem Jahr 2020 wird der verwendete Emissionsfaktor mit 0,2 kg pro Jahr und Einwohner fortgeschrieben, da eine unendliche Verbesserung durch Anlagenoptimierung auf Basis genannter Studie nicht als realistisch eingeschätzt wird. 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 (BMLFUW, 1991). Der IPCC Default Wert für Deutschland liegt mit 62 g in derselben Größenordnung (2006 IPCC Guidelines, (IPCC, 2006d): 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 (2006d): 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 & 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 & 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 & BLU, 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 et al., 2020a) 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 450: Einwohner Deutschland gesamt und mit Anschluss an abflusslose Gruben

Einwohner [1000 kpf]	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021
Abflusslose Gruben	8234,425	6434,800	1266,667	875,667	575,000	448,609	367,773	347,564	327,355
Deutschland gesamt	79753,227	81307,715	81456,617	81336,663	80284,071	82175,684	83166,711	83155,031	83237,124

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_0 = ± 30 %

Die Aktivitätsraten der organischen Fracht in abflusslosen Gruben basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, dreijährlich - FS 19, R. 2.1.3). 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.

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 & 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 & Tchobanoglous, 2011) 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 & Tchobanoglous, 2011) 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 & Tchobanoglous, 2011) 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 & Tchobanoglous, 2011) wurden im Folgejahr von (Diaz-Valbuena et al., 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 451: Verifikation CH_4 aus abflusslosen Gruben

CH_4 aus abflusslosen Gruben [kt]	2016	2017	2018	2019	2020	2021
über BSB5 - Fracht / EW (Gujer)	0,974	0,928	0,882	0,836	0,790	0,744
über BSB5 - Konzentration und Abwasseranfall (BDZ)	1,010	0,963	0,915	0,867	0,820	0,772

Die Anwendung der IPCC Guideline für die Berechnung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung ist nicht 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 2022) 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 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

7.5.1.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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.[133]. 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:

- 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 452: Verwertung von ausgefaultem Klärschlamm

Klärschlamm Trockenmasse TM [t]	2017	2018	2019	2020	2021
Gesamtmenge	1.713.185	1.747.230	1.740.089	1.740.556	1.740.556
Thermische Verwertung	1.190.156	1.295.188	1.293.246	1.334.994	1.334.994
- Monoverbrennung	478.493	496.463	490.141	507.929	507.929
- Mitverbrennung	648.108	761.959	768.961	795.819	795.819
- unbekannt	63.555	36.766	34.144	31.246	31.246
Deponie	0	0	0	0	0
Stoffliche Verwertung	516.158	436.146	433.723	388.886	388.886
- Landwirtschaft	311.905	280.325	287.484	259.851	259.851
- Landschaftsbauliche Maßnahmen	171.633	122.615	58.597	25.181	25.181
- Kompostierung	0	0	0	0	0
- Sonstiges	32.620	33.206	87.642	103.854	103.854
sonstige direkte Verwertung	6.871	15.896	13.120	16.676	16.676

Die Aktivitätsraten der Klärschlammverwertung basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, jährlich). Dieser Bericht erscheint 3-jährlich. Für die Zwischenjahre wird auf die Veröffentlichung „Wasserwirtschaft Öffentliche Abwasserentsorgung

[133] Im Jahr 2016 wurde in 1.258 Abwasserbehandlungsanlagen Faulgas gewonnen (Statistisches Bundesamt, 2017).

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“ [134].

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)

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

[134] Hierzu zählt auch die Abgabe an Trocknungsanlagen, wenn die weitere Entsorgung nicht bekannt ist.

auf Ergebnissen der Studie Schön et al. (1993)[135]. 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.)

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.

135 Der Emissionsfaktor wurde ermittelt, indem die Differenz aus den Methanemissionen der psychrophilen Schlammstabilisierung in den neuen Bundesländern und der anfallenden Klärschlammenge gebildet wurde.

7.5.1.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.1 Schlammbehandlung)

Die Werte für Klärschlammgewinnung und Verluste bis einschließlich 2020 verfügbar. Die Werte für 2021 wurden mittels der Werte für 2020 fortgeschrieben.

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 (2006d): 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 (BMLFUW, 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, dreijährlich - FS 19, R. 2.1.3). Für die Berechnung der Lachgasemissionen werden kommunale Kläranlagen berücksichtigt, die mit einer Denitrifikation ausgestattet sind.

Gemäß 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006d): 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, dreijährlich - FS 19, R. 2.1.3) behandelten Abwassers von ca. 30% , wurde $F_{IND\text{-}COMM}$ 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, 2006): 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
$F_{NON\text{-}CON}$	=	Faktor des nicht konsumierten Proteins im Abwasser, Default = 1,1
$F_{IND\text{-}COM}$	=	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[136] 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.

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:

$$N_{EFFLUENT} = N_{EFFLUENT\ mit} + N_{EFFLUENT\ ohne}$$

$$= (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - F_{ELIMINATION}) \times T_{PLANT\ Deni.} + (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - T_{PLANT\ Deni.})$$

[136] 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.

Das Ergebnis des oben beschriebenen Vorgehens konnte durch Heranziehung alternativer Daten (Köppen et al., 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 Schmidt et al. (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:

$N_2O_{emissions}$	= 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 %
$F_{IND-COMM}$	=	± 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 (2006d):, 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)

$F_{NON-CON}$, = ± 30 %

$F_{IND-COM}$ = ± 25 %

Die Unsicherheiten für den $EF_{EFFLUENT}$ werden den (IPCC (2006d): Vol. 5, Tabelle 6.11} entnommen.

7.5.1.3.4 Kategoriespezifische 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 (Köppen et al., 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 453: 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 & Souci, 1991) wird eine durchschnittliche Eiweißzufuhr von 94 g/ Einwohner und Tag angegeben.
- Im Ernährungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE, 2008)[137] 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[138] 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 (Noleppa & Cartsburg, 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 (Noleppa & Cartsburg, 2015).

[137] Der Ernährungsbericht wird im vierjährigen Rhythmus herausgegeben.
[138] 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.

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 2022) zeigt eine gute Übereinstimmung mit den meisten anderen Staaten. Dies wird auf die Anwendung 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.
- 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 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.1 Lachgas kommunal)

Aufgrund aktualisierter Daten für die Proteinversorgung durch die FAO für die Jahre 2018 und 2019 steigen die Emissionen aus dem Effluenten und damit auch die Gesamtemissionen leicht an. Die Daten für die Jahre 2020 und 2021 wurden mit dem Wert für 2019 fortgeschrieben.

Aufgrund neuer veröffentlichter Werte für die Abwassermengen für das Jahr 2019 änderten sich die zuvor ab dem Jahr 2016 (bis NIR 2022 letzter fester Wert) extrapolierten Werte. Die Abwassermengen nehmen leicht ab und der Anteil der Abwasserbehandlung mit Denitrifikation (Splitting-Faktor) nimmt leicht zu. Der gestiegene Anteil der Denitrifikation erhöht die direkten Emissionen leicht. Die Emissionen aus dem Kläranlagenablauf (Effluent) sinken aufgrund der

gefallenen Abwassermengen und den leicht gesunkenen FAO-Daten. Insgesamt sinken die Lachgasemissionen leicht.

Tabelle 454: Rückrechnung der N_2O-Emissionen

Eiweißzufuhr	Einheit		2017	2018	2019	2020
Protein-Versorgung	[g/kpf/d]	NIR 2023	104,05	105,50	104,24	104,24
Protein-Versorgung	[g/kpf/d]	NIR 2022	104,05	105,40	105,40	105,40
pro Einwohner und Jahr	[kg/kpf/a]	NIR 2023	30,383	30,806	30,438	30,438
pro Einwohner und Jahr	[kg/kpf/a]	NIR 2022	30,383	30,777	30,777	30,777
Nährstoffelimination	**Einheit**		**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Gesamt-Abwassermenge	[1000 m³]	NIR 2023	9.403.349	9.225.645	9.047.942	8.870.239
Gesamt-Abwassermenge	[1000 m³]	NIR 2022	9.499.670	9.418.288	9.336.906	9.255.524
Abwassermenge mit Denitrifikation behandelt	[1000 m³]	NIR 2023	8.948.327	8.812.106	8.675.884	8.539.662
Abwassermenge mit Denitrifikation behandelt	[1000 m³]	NIR 2022	8.965.049	8.845.549	8.726.049	8.606.549
Splitting-Faktor (Anteil Abwasserbehandlung mit Denitrifikation)	[-]	NIR 2023	0,951611	0,955175	0,958879	0,962732
Splitting-Faktor (Anteil Abwasserbehandlung mit Denitrifikation)	[-]	NIR 2022	0,943722	0,939189	0,934576	0,929882
N2O Indirekt (Effluent)	**Einheit**		**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
NEFFLUENT Real	[kt]	NIR 2023	130,814	131,307	128,227	126,398
NEFFLUENT Real	[kt]	NIR 2022	134,501	138,771	141,211	143,423
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2023	1,028	1,032	1,008	0,993
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2022	1,057	1,090	1,110	1,127
N_2O Direkt	**Einheit**		**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2023	0,328	0,330	0,332	0,333
N_2O Emissionen	[kt]	NIR 2022	0,325	0,324	0,323	0,322
N_2O Gesamt	**Einheit**		**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Gesamt N_2O	[kt]	NIR 2023	1,356	1,362	1,339	1,326
Gesamt N_2O	[kt]	NIR 2022	1,382	1,415	1,433	1,449

7.5.1.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Lachgas kommunal)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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, 2006a) 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 (U. Austermann-Haun & 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 (U. Austermann-Haun & 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 (U. 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, 2006a): 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, jährlich - 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.[139] 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 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, m^3/t (wastewater generated, $m^3/t_{product}$)
COD_i	= chemischer Sauerstoffbedarf, kg CSB/m^3 (chemical oxygen demand (industrial degradable organic component in wastewater), kg COD/m^3)

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, 2006a): 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.

[139] 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.

$$CH_4\ Emissions = \sum_i \left[\left(TOW_i \cdot \omega_{ANR,i} \cdot \omega_{CSB,i} \cdot EF_{CH4,gelöst,i} \right) + E_{CH4,GS,i} + E_{CH4,PS,i} + E_{CH4,AT,i} \right]$$

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, 2006a): 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 455: 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 %
2021	1.030.958	116%

Der TOW der einzelnen betrachteten Unterbranchen ist in (U. Austermann-Haun & 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 457). Bis 2016 wurde die zu Grunde gelegte Abwasserstatistik alle drei Jahre aktualisiert. 2019 erfolgte erstmals keine Aktualisierung. Aus diesem Grunde werden die Daten ab 2017 extrapoliert, hierbei wird für die chemische Industrie eine jährliche Minderung der Abwassermenge um 1 % angenommen und für die Papier- und Pappe-Herstellung um 1,5%. Für die Nahrungsmittelindustrie wird der Wert weiterhin als konstant angenommen. Die vorgenommene Extrapolation (Expertenschätzung) erfolgt auf Basis der Entwicklung der Vorjahre. 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 TOW_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 TOW_i angewendet. Die branchenspezifischen Parameter sind in der folgenden Tabelle 456 aufgeführt (siehe auch Tabelle 12 in (U. Austermann-Haun & Witte, 2014)).

In den verschiedenen Unterbranchen werden unterschiedliche Anteile des Abwassers (vgl. $\omega_{ANR,i}$ in Tabelle 456) 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 456: 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, 2006a): Vol. 5, Kapitel 6) bezieht sich auf die Vorprodukte. Somit enthält die bisherige Berichterstattung bereits die geforderten zusätzlichen Produktkategorien. (IPCC, 2006a) merkt an, dass die Default-Werte mit Vorsicht zu nutzen sind, da sie industrie-, prozess- und landesspezifisch sind.

Tabelle 457: Berechnung des TOW für das Jahr 2021, Direkteinleiter

Industriebereich	Mittlerer CSB [kg/m³]	Abwassermenge (2021) [m³]	TOW (2021 [t CSB/Jahr]
Chemische Industrie	3 [1)]	244.370.857	733.113
Nahrungsmittelindustrie	3 [2)]	59.802.282	179.407
Papier- und Zellstoffindustrie	2 [2)]	185.440.445	370.881
			1.283.400

1) 2006 IPCC Guidelines, (IPCC, 2006a): 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, 2006a) 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 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.D.2 CH_4)

Es wurden Rückrechnungen zum TOW durchgeführt. Diese waren erforderlich, da die zu Grunde gelegte Statistik ab 2017 nicht fortgeführt wurde und deshalb nun eine Extrapolation erfolgt (siehe auch Kapitel 7.5.2.1.2).

Tabelle 458: Rückrechnung zum TOW auf Basis der Abwassermenge für die Jahre 2017 bis 2020

Abwassermenge [m³]					
Industriebereich	Inventar	2017	2018	2019	2020
Chemie	NIR 2023	254.395.036	251.851.086	249.332.575	246.839.249
Chemie	NIR 2022	256.964.683	256.964.683	256.964.683	256.964.683
Papier & Pappe	NIR 2023	196.996.966	194.042.012	191.131.382	188.264.411
Papier & Pappe	NIR 2022	199.996.920	199.996.920	199.996.920	199.996.920
TOW [kt]					
Gesamt	NIR 2023	1.337	1.323	1.310	1.296
Gesamt	NIR 2022	1.350	1.350	1.350	1.350

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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, 2006a), 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 ((Ute Austermann-Haun & 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, 2006a): 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 (Ute Austermann-Haun & 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 (Ute 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).

$$N_2O = EF \times AD \times 44/28$$

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 - 90 %/+ 310 % bewertet.

Die mittleren spezifischen Stickstofffrachten der verschiedenen Branchen besitzen nachfolgende Unsicherheiten (Tabelle 459), die durch Expertenschätzung ermittelt wurden. Als Unsicherheit für die Gesamtstickstofffracht (Aktivitätsrate) werden unter konservativen Gesichtspunkten -50 %/+50 % angenommen (Expertenschätzung).

Tabelle 459: 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 (Ute Austermann-Haun & 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, 2006a), 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 Kategoriespezifische 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

7.6 Andere Bereiche (5.E)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO_2-e.)	(fraction)	2021 (kt CO_2-e.)	(fraction)	Trend 1990-2021
-/-	5 E, Other		CH_4	0,0	0,0 %	2,6	0,0 %	-
-/-	5 E, Other		N_2O	0,0	0,0 %	29,0	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[140] 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

[140] Informative Inventory Report (IIR): www.iir.umweltbundesamt.de

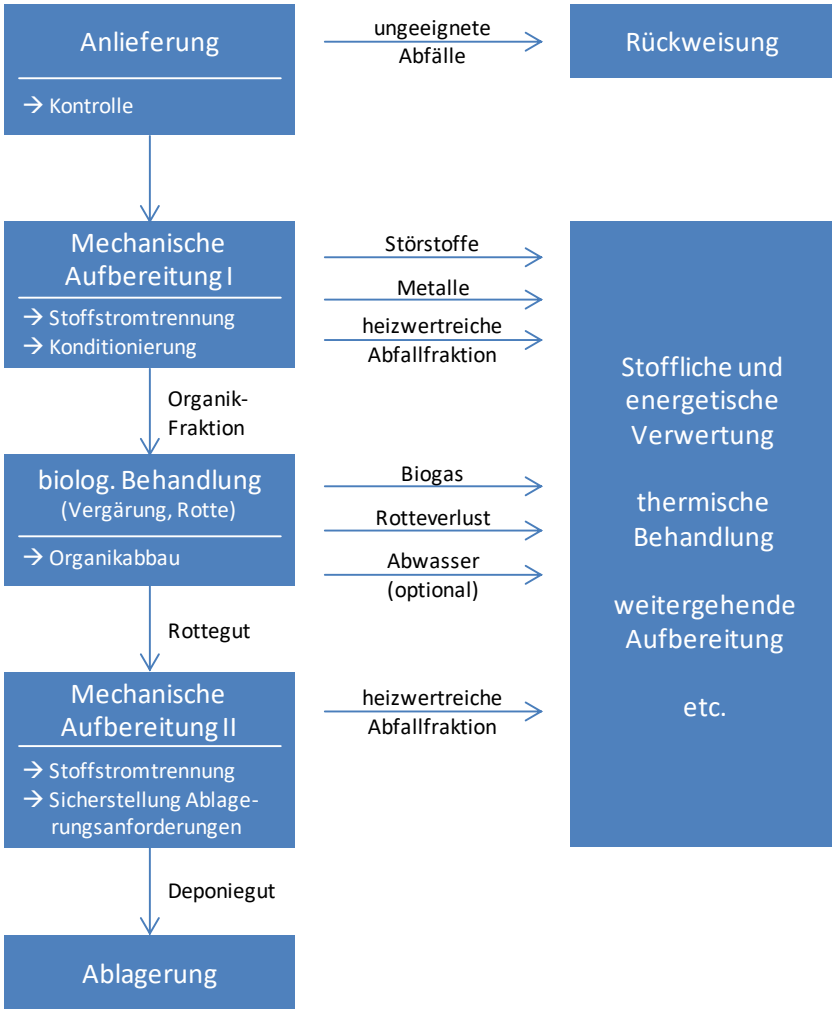
30. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BFJ & BMJ, 2017) müssen MBA-Neuanlagen seit dem 1. März 2001 strenge technische Anforderungen erfüllen und anspruchsvolle Grenzwerte einhalten. Die Übergangsregelungen für Altanlagen forderten eine Nachrüstung bis spätestens zum 1. März 2006. Die Emissionswerte 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 460). Die Emissionsbegrenzungen und die Emissionsfaktoren beziehen sich auf die Feuchtsubstanz, die Abfallmengen werden bei der Anlieferung an die Anlagen demgemäß erfasst.

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 3,68 Mio. t Abfälle in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen entsorgt. Bei der Behandlung fallen rund 3,23 Mio. t Rückstände an, wobei 0,72 Mio. t als Abfälle zur Beseitigung (hoher Anteil Ablagerung auf Deponien), 2,37 Mio. t als Abfälle (weitgehend Ersatzbrennstoffe) zur Verwertung und 0,35 Mio. als sonstige Rückstände (z.B. Sekundärrohstoffe und Produkte) deklariert werden (alle Daten: Statistisches Bundesamt; GENESIS-ONLINE; Tabelle 32111-0003). Die restlichen 0,44 Mio. t sind Masseverluste im Behandlungsprozess durch biologischen Abbau organischer Bestandteile und Verdunstung oder Auschleusung (Abwasser) des Wassergehalts des Abfalls.

Abbildung 91: Stoffstromschema Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung[141]



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. 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, 2019) veröffentlicht, seit 2020 ist die Veröffentlichung eingestellt und die Aktivitätsdaten werden vom Statistischen Bundesamt über GENESIS-ONLINE ((Statistisches Bundesamt, ohne Jahresangabe), 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 (Detzel et al., 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

[141] Quelle: VDI 3475 Blatt 3, Emisssionsminderung - Anlagen zur mechanisch-biologischen Behandlung von Siedlungsabfällen, 2006-12 (verändert)

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 (BFJ & BMJ, 2017) 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 460).

Tabelle 460: 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 461: Rekalkulation MBA

Bezeichnung	Einheit	NIR	2020
Behandelte Abfallmenge	[kt]	2023	3.679,5
		2022	3.718.
CH_4	[kg]	2023	96.035
		2022	97040
N_2O	[kg]	2023	111.489
		2022	112.655

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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 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 462: 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

Indirekte CO_2-Emissionen aus CO und NMVOC werden im Inventar nicht explizit berechnet. Sie werden aber in folgenden CRF mittelbar über die vorgegebene/verwendete Berechnungsmethodik als CO_2 berücksichtigt:

- 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 CO_2 umgerechnet und als solches in CRF Table2(I).A-Hs2 berichtet.

Aufbauend auf dem Reviewergebnis des ARR 2018 (G.11, Table 6) sowie dessen reitteration im ARR 2020 (G7, Table 3 2020) werden die indirekten CO_2-Emissionen des Energie- und IPPU-Sektors in CRF table 6 mit dem Notation Key „NE“ berichtet. Dies erfolgt ebenfalls für den Landwirtschafts-, LULUCF- und den Abfallsektor.

Die Ausweisung indirekter N_2O-Emissionen aus NO_X und NH_3 erfolgt für das nationale Inventar nur in sehr wenigen Einzelfällen. Diese sind:

- 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.

Aufbauend auf dem Reviewergebnis des ARR 2018 (G.11, Table 6) werden die indirekten N_2O-Emissionen des Landwirtschafts- und LULUCF-Sektors mit dem Notation Key „IE“ berichtet. Dieses Vorgehen wurde im Review 2020 bestätigt. Für Energie, IPPU und den Abfallsektor wird NE berichtet.

10 Rückrechnungen und Verbesserungen (GWP nach IPCC AR4)

Alle Emissionsangaben in CO_2-Äquivalenten in den Rückrechnungskapiteln sind mit den Treibhausgaspotentialen (GWP) des Vierten IPCC-Sachstandsberichts berechnet, um eine Vergleichbarkeit mit den Inventaren der letzten Berichterstattung herzustellen. Ausnahmen sind deutlich gekennzeichnet.

10.1 Erklärung und Rechtfertigung der Rückrechnungen

10.1.1 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.

10.1.2 Rückrechnungen im Inventar 2023 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 2020 bei den verschiedenen Brennstoffen zu folgenden Rückrechnungen:

(in Mio. t CO_2-äquivalent, GWP nach AR4)	Submission 2022	Submission 2023	Änderung ggü. Submission 2022	
Gesamtemissionen CRF 1.A	604,7	612,4	7,7	1,3%
Mineralöle	229,4	233,1	3,7	1,6%
Erdgas und Grubengas	164,3	167,9	3,5	2,2%
Braunkohlen	106,5	107,0	0,4	0,4%
Steinkohlen	79,3	80,3	0,9	1,2%
Sonstige Brennstoffe/ Rauchgasentschwefelung	25,1	24,2	-0,8	-3,4%

Quelle: eigene Berechnungen

Gegenüber Submission 2022 resultieren die größeren Änderungen bei Mineralölen und Gase unter anderem aus methodischen Anpassungen. Für das Jahr 2020 werden die Emissionen um ca. 7,7 Mio. Tonnen Kohlendioxidäquivalente nach oben korrigiert. Da hier auch geänderte Allokationen eine Rolle spielen, sind Details zu den erfolgten Rückrechnungen insbesondere in den Kapiteln zu den CRF-Kategorien 1.A.1.b sowie 1.A.2.g viii.

(darüber hinaus, auszugsweise)

- mobile Emittenten in 1.A: Revision CO_2-Emissionsfaktor Ottokraftstoff (2020)
- 1.A.3.a, 1.D.1.a: Korrektur Aufteilung Inlands- und Auslandsflüge (ab 1990)
- 1.A.3.a, 1.D.1.a: Implementierung landesspezifischer CO_2-Emissionsfaktor Flugbenzin (ab 1990)
- 1.A.3.d: Neuerfassung LNG Seeschiffe (ab 2015)
- 1.A.3.d, 1.D.1.b: Revision CO_2-Emissionsfaktor Schweröl (ab 1990)
- 1.B.1.b: Revision Aktivitätsrate Steinkohlenkoksproduktion (2020)
- 1.B.2.b: Anpassung Aktivitätsraten und Methodik (ab 1990)

Industrieprozesse & Produktverwendung

- 2.A.4.b/ 2.B.7: Änderung Datenquelle für Herstellung von Soda
- 2.C.1: Implementierung endgültige Energiebilanz 2020
- 2.D.1: Revision in mobilen Emittenten mitverbrannte Schmierstoffmengen (ab 1990)
- 2.D.2, 2.G.4: Anpassung Außenhandelsstatistik (2020)

Landwirtschaft

- 3.A, 3.B, 3.D: Berücksichtigung Daten aus Landwirtschaftszählung 2020 (ab 2000)
- 3.A, 3.B, 3.D: Korrektur Rationsberechnung (ab 1990) und Korrektur Milchleistung/Schlachtgewicht Milchkühe (2020)
- 3.A, 3.B, 3.D: Aktualisierung Fütterungsdaten Mastschweine (ab 2011)
- 3.B, 3.D: Rinder/Schweine: Änderung indirektes N_2O bei Haltungssystem Tiefstreu sowie Berücksichtigung Feldrandlagerung von Festmist, indirektes N_2O durch Auswaschung
- 3.B, 3.D: Korrektur Schlachtgewicht Färsen (2020)
- 3.B, 3.D: Korrektur Schlachtalter/Schlachtgewicht Mastbullen
- 3.A, 3.B, 3.D: Korrektur Ferkel pro Sau (ab 2015)
- 3.B, 3.D: Korrektur Gesamt-Bruttoschlachtfleischmenge Masthähnchen (2020)
- 3.D, 3.J: Aktualisierung vergorene N-Menge Vergärung von Energiepflanzen (ab 2019)
- 3.D: Aktualisierung Klärschlammmenge (2020)
- 3.D: Neuerfassung Gärreste aus Abfall, Kompost aus Bioabfall und Grünabfall (ab 1990)
- 3.B, 3.D: Einführung Weidegang Legehennen
- 3.D: Aktualisierung N-Menge Ernterückstände (ab 2000)
- 3.D: Aktualisierung N-Menge aus N-Mineralisierung in Mineralböden (ab 1990)
- 3.D: Aktualisierung Flächen und Emissionen Bewirtschaftete organische Böden (ab 1990)
- 3.B, 3.D: Revision Aktivitätsdaten Wirtschaftsdüngervergärung (ab 1990)

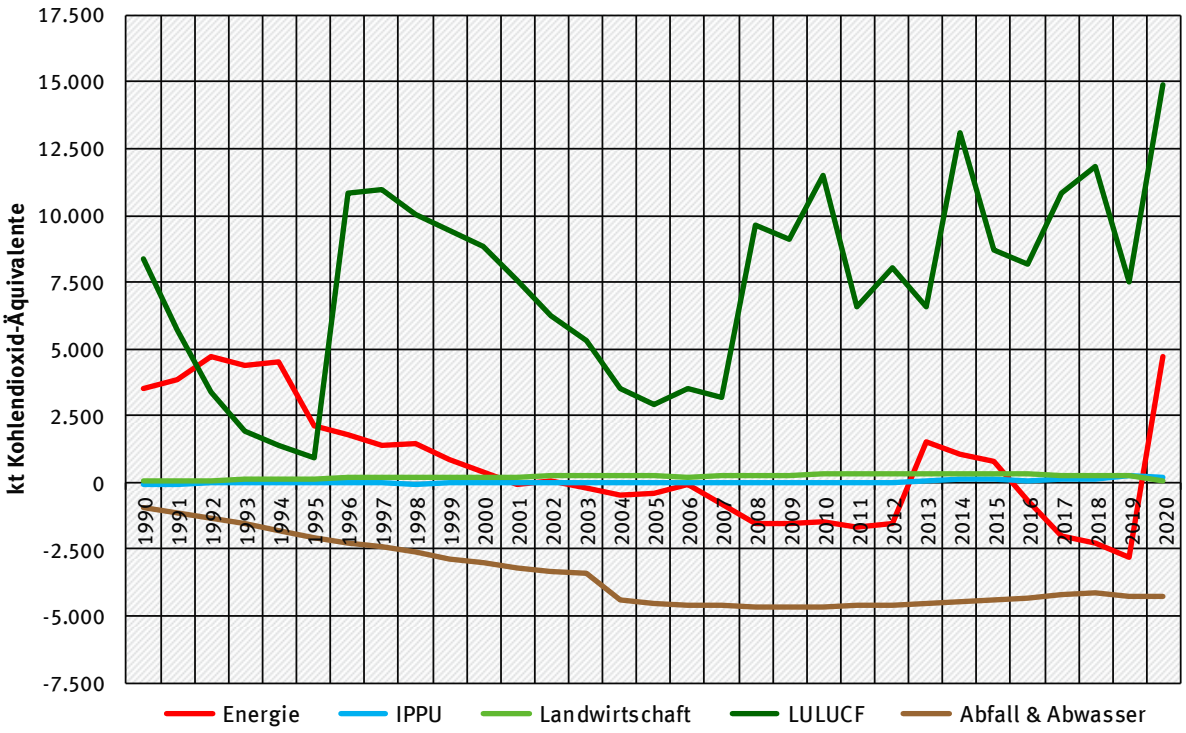
Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft:

- Neuimplementierung LULUCF-Berechnungsmodell in Programmiersprachen R und C++
- Anpassung Stichprobennetzes Ermittlung Landnutzung und Landnutzungsänderung
- Waldbrand: Neuberücksichtigung Biomasse aus Totholz und Streu
- mineralischer Waldboden: „overlap method“ basierend auf „stock-difference-method“ und Modellierung mit YASSO
- Regionalisierung Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte von Mineralböden
- Einführung Landnutzungssubkategorien „Hecken, Natürliche Gewässer, Stehende künstliche Gewässer, Fließende künstliche Gewässer und Straßen“
- Einführung regionalisierte Emissionsfaktoren für Mineralböden der Subkategorie Gebäude und Freiflächen der Landnutzungskategorien „Siedlungen“ und *„Sonstiges Land“*

Abfall und Abwasser:

- 5.A.1, 5.B.1, 5.B.2, 5.E.1: Routinemäßige Aktualisierung statistischer Daten für vorvergangenes Jahr
- 5.A.1, CH_4: Überarbeitung Emissionsparameter (DOC, DOCf, Halbwertszeit) auf Basis eines Forschungsvorhabens
- 5.A.1, CH_4: Revision gefasste Gasmengen aus Ablagerungs- und Stillegungsphase (2020)
- 5.B.1: Korrektur fehlerhafte Aktivitätsraten (1990 bis1992)
- 5.B.1, 5.B.2: Revision Emissionsfaktor N_2O (ab 1990)
- 5.D.1: Aktualisierung Proteinversorgung gemäß FAO (2018-2020)
- 5.D.1: Aktualisierung Jahresabwassermenge 2019 und Vorjahre (ab 2017)
- 5.D.2: Extrapolation TOW nach Wegfall Statistik (ab 2018)

Abbildung 92: Änderung der Gesamtemissionen über alle Kategorien gegenüber Submission 2021 (GWP nach IPCC AR4)



10.1.3 Rückrechnungen im Inventar 2023 nach Substanzen

Rückrechnungen erfolgten in folgenden Quellgruppen (siehe auch Nennungen unter 10.1.2):

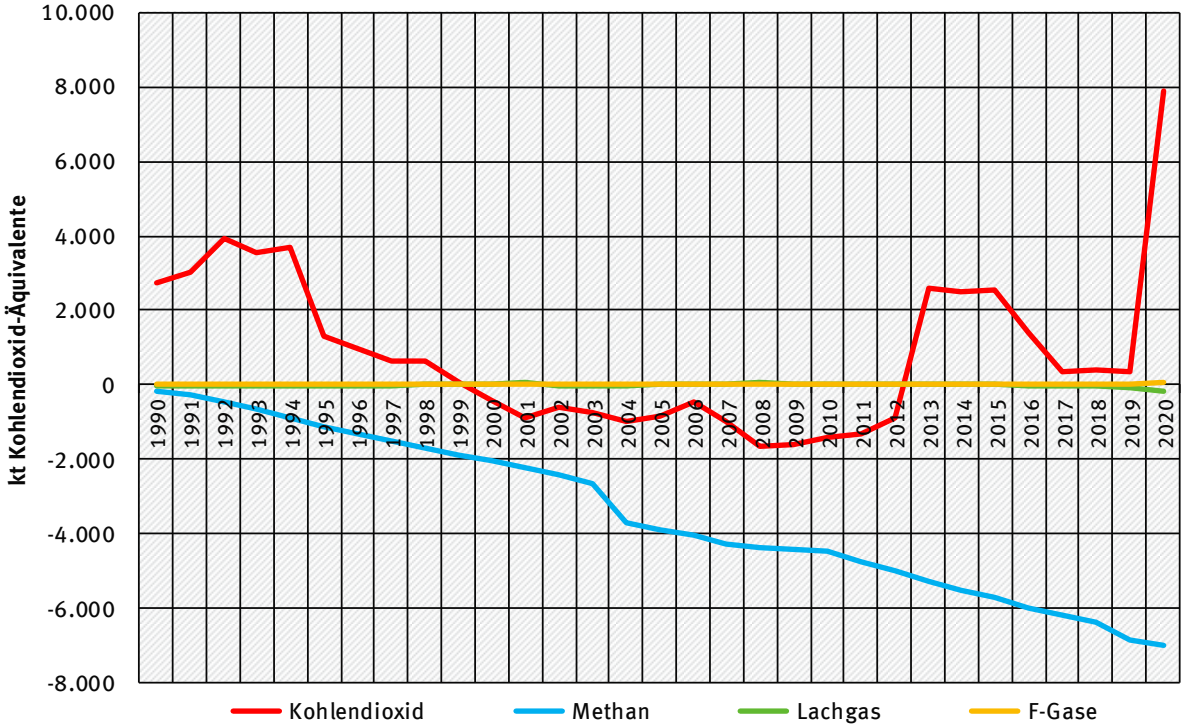
Tabelle 463: Übersicht der von Rückrechnungen betroffenen CRF-Oberkategorien

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 464: prozentuale Änderungen gegenüber der vorjährigen Berichterstattung

		Basisjahr	2005	2020
Gesamt (CO_2-äquiv.)		0,21%	-0,48%	0,10%
CO_2	1990:	0,26%	-0,10%	1,23%
CH_4		-0,13%	-5,68%	-14,3%
N_2O		0,0%	0,00%	-0,6%
F-Gase	1995:	0,00%	0,00%	0,39%

Abbildung 93: Rückrechnung der Gesamtemission der einzelnen Treibhausgase über alle Quellgruppen gegenüber der Submission 2022 (GWP nach IPCC AR4)



Gegenüber der Submission 2022 erfolgten mehrere auf Hinweisen oder Empfehlungen aus Reviews resultierenden Rückrechnungen. Details hierzu finden sich in den entsprechenden Kapiteln der betroffenen Sektoren.

10.2 Auswirkung auf die Höhe der Emissionen

Die Veränderungen gegenüber Submission 2022 fallen mit plus 0,21 % für 1990, minus 0,48 % bzw. plus 0,10 % für 2020 geringer aus als in der vorangegangenen Submission.

Für die einzelnen CRF-Sektoren sind die Veränderungen innerhalb der für 1990, 2005 bzw. 2020 berichteten Emissionen in Tabelle 467 bis Tabelle 469 dargestellt.

Das Inventar wurde in Bezug auf Vollständigkeit und Genauigkeit weiter verbessert.

Tabelle 465: Rückrechnung der nationalen THG-Gesamtemissionen (ohne LULUCF, GWP nach IPCC AR4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung ggü. Submission 2020	
1990	1.241.919	1.244.508	2.589	0,21%
1995	1.115.305	1.115.458	152	0,01%
2000	1.036.926	1.034.503	-2.423	-0,23%
2005	986.709	981.974	-4.735	-0,48%
2010	935.768	929.904	-5.865	-0,63%
2011	911.244	905.194	-6.049	-0,66%
2012	916.901	911.026	-5.875	-0,64%
2013	933.987	931.311	-2.677	-0,29%
2014	894.465	891.439	-3.026	-0,34%
2015	897.954	894.768	-3.186	-0,35%
2016	901.442	896.840	-4.602	-0,51%
2017	885.729	879.876	-5.853	-0,66%
2018	850.542	844.513	-6.029	-0,71%
2019	799.734	793.139	-6.595	-0,82%
2020	728.738	729.495	758	0,10%

Quelle: eigene Berechnungen

Die nachrichtlich berichteten Emissionen der sogenannten MemoItems wurden gegenüber der vorangegangenen Berichterstattung ebenfalls korrigiert.

Am deutlichsten fielen die Änderungen dabei beim internatioalen zivilen Flug- und Seeverkehr aus.

Tabelle 466: Rückrechnungen der nachrichtlichen Inventardaten (Memo Items, GWP nach IPCC AR4)

	1990	2005	2020
nachrichtliche Emissionen:	**0,94%**	**0,06%**	**0,64%**
aus internationalen Verkehren	-0,22%	0,18%	-0,06%
davon: internationaler ziviler Flugverkehr	1,26%	1,08%	0,50%
davon: internationaler Schiffsverkehr	-2,68%	-2,54%	-2,18%
aus multilateralen Militäreinsätzen	NE	NE	NE
CO_2 aus der Verbrennung von Biomasse	0,00%	0,00%	-0,76%
aufgefangenes CO_2 (CCS)	NO	NO	NO

Quelle: eigene Berechnungen

10.2.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990

Die Gesamtemissionen (ohne LULUCF) für 1990 werden um etwa 0,21 % bzw. 2.589 kt CO_2-Äquivalente nach oben korrigiert (siehe Tabelle 467).

Die maßgeblichen inventarwirksamen, aber gegenläufigen Korrekturen erfolgten dabei in den Sektoren *Energie* (+3.534 kt | +0,34 %) sowie *Abfall & Abwasser* (-960 kt | -2,54 %)

Hinzu kommen vergleichsweise geringfügige und ebenfalls gegenläufige Korrekturen in den Sektoren *Industrieprozesse und Produktanwendung* (-52 kt) und *Landwirtschaft* (+67 kt).

Die für den *LULUCF*-Sektor berichtete netto-CO_2-Freisetzung wird mit +4.169 kt nochmals spürbar (+17 %) nach oben korrigiert. Parallel erfolgt eine Anhebung der Methan- und Lachgas-Emissionen um 4.236 kt bzw. 176 %.

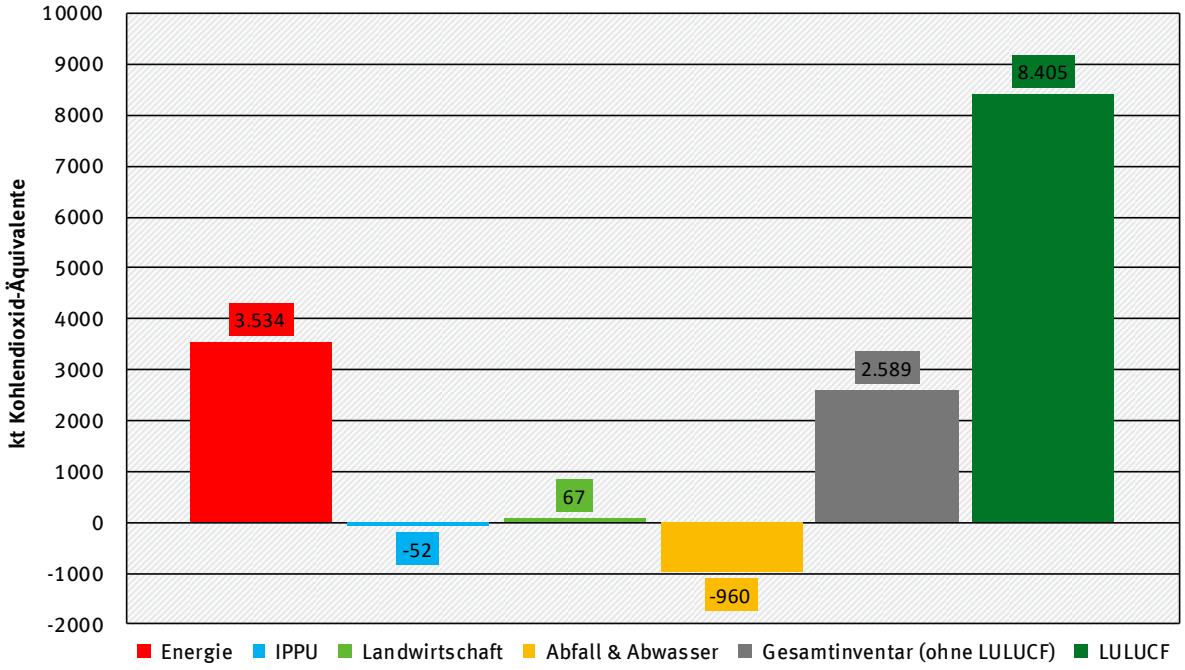
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 467: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission 1990, in kt CO_2-Äquiv. (GWP nach IPCC AR4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung ggü. Subm. 2022	
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	**1.241.919**	**1.244.508**	**2.589**	**0,21%**
1. Energie	1.036.444	1.039.977	3.534	0,34%
2. IPPU	96.891	96.840	-52	-0,05%
3. Landwirtschaft	70.581	70.648	67	0,09%
4. Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	27.003	35.408	8.405	-31,1%
CO_2 (Netto-Emissionen/Einbindung)	*24.591*	*28.760*	*4.169*	*17,0%*
N_2O + CH_4 (Emissionen)	*2.412*	*6.647*	*4.236*	*176%*
5. Abfall & Abwasser	38.003	37.043	-960	-2,53%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 94: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 1990 (GWP nach IPCC AR4)



10.2.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2005

Im Vergleich zur Submission 2022 werden die für 2005 berichteten Gesamtemissionen ohne LULUCF um 4.735 kt CO_2-Äquivalente bzw. 0,48 % nach unten korrigiert (siehe Tabelle 469).

Die maßgebliche Korrektur erfolgte dabei im Sektor *Abfall & Abwasser* (-4.536 kt | -21,4 %).

Hinzu kommen kleinere Änderungen in den Sektoren *Energie* (-382 kt), *Industrieprozesse und Produktanwendung* (-40 kt) und *Landwirtschaft* (+223 kt).

Im *LULUCF*-Sektor kommt es für 2005 zu einer Verminderung der CO_2-Freisetzung um 1.098 kt. Die zusammengefassten Methan- und Lachgas-Emissionen fallen hier fast dreimal so hoch aus wie in Submission 2022 (+4.031 kt | +137 %).

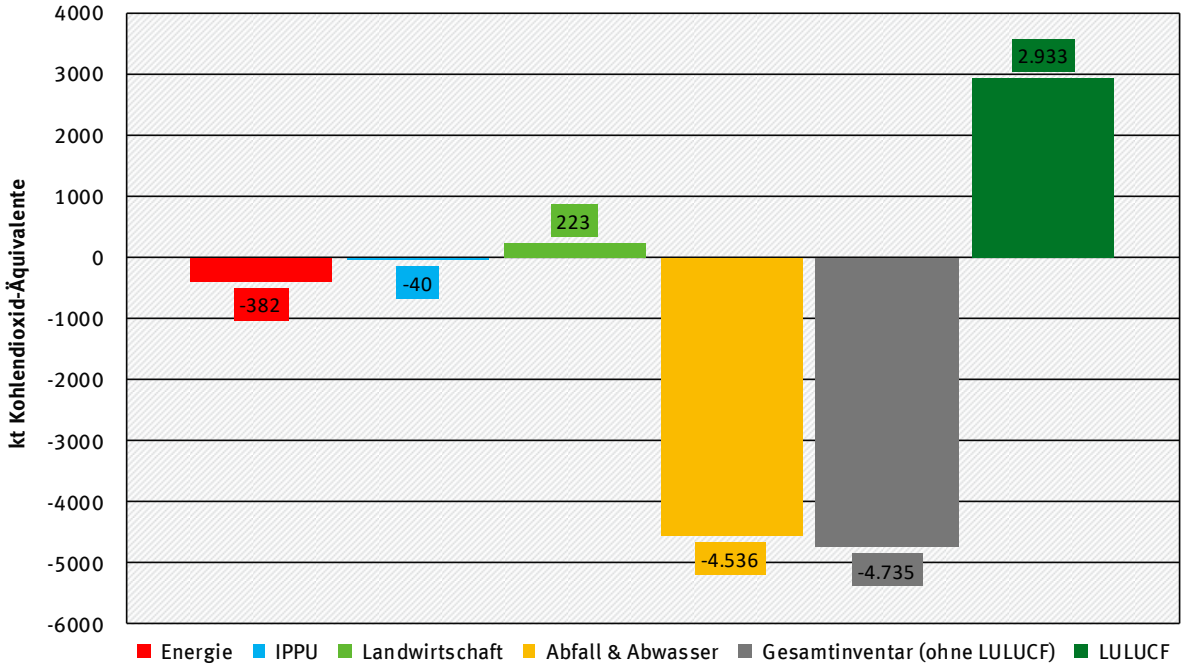
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 468: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission 2005, in kt CO_2-Äquiv. (GWP nach IPCC AR4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung ggü. Subm. 2022	
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	**986.709**	**981.974**	**-4.735**	**-0,48%**
1. Energie	831.839	831.456	-382	-0,05%
2. IPPU	75.602	75.562	-40	-0,05%
3. Landwirtschaft	58.081	58.304	223	0,38%
4. Landnutzungsänderung u. Forstwirtschaft	4.348	7.281	2.933	-67,4%
CO_2 (Netto-Emissionen/Einbindung)	*1.406*	*307*	*-1.098*	*-78,1%*
N_2O + CH_4 (Emissionen)	*2.942*	*6.973*	*4.031*	*137%*
5. Abfall & Abwasser	21.188	16.652	-4.536	-21,41%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 95: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2005 (GWP nach IPCC AR4)



10.2.3 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2020

Im Vergleich zur Submission 2022 werden die für das Jahr 2020 berichteten Gesamtemissionen ohne LULUCF um 758 kt CO_2-Äquivalente bzw. 0,10 % minimal nach oben korrigiert (siehe Tabelle 469).

Die maßgeblichen, aber gegenläufigen Korrekturen entfallen dabei wiederum auf die Sektoren *Energie* (+4.728 kt | +0,78 %) bzw. *Abfall & Abwasser* (-4.258 kt | -48,6 %).

Hinzu kommen kleinere Änderungen in den Sektoren *Industrieprozesse und Produktanwendung* (+199 kt) und *Landwirtschaft* (+88 kt).

Im *LULUCF*-Sektor kommt es für 2020 zu einer drastischen Verminderung der CO_2-Senkenleistung um 11.140 kt. Die zusammengefassten Methan- und Lachgas-Emissionen fallen hier mehr als doppelt so hoch aus als in Submission 2022 (+3.762 kt | +111 %).

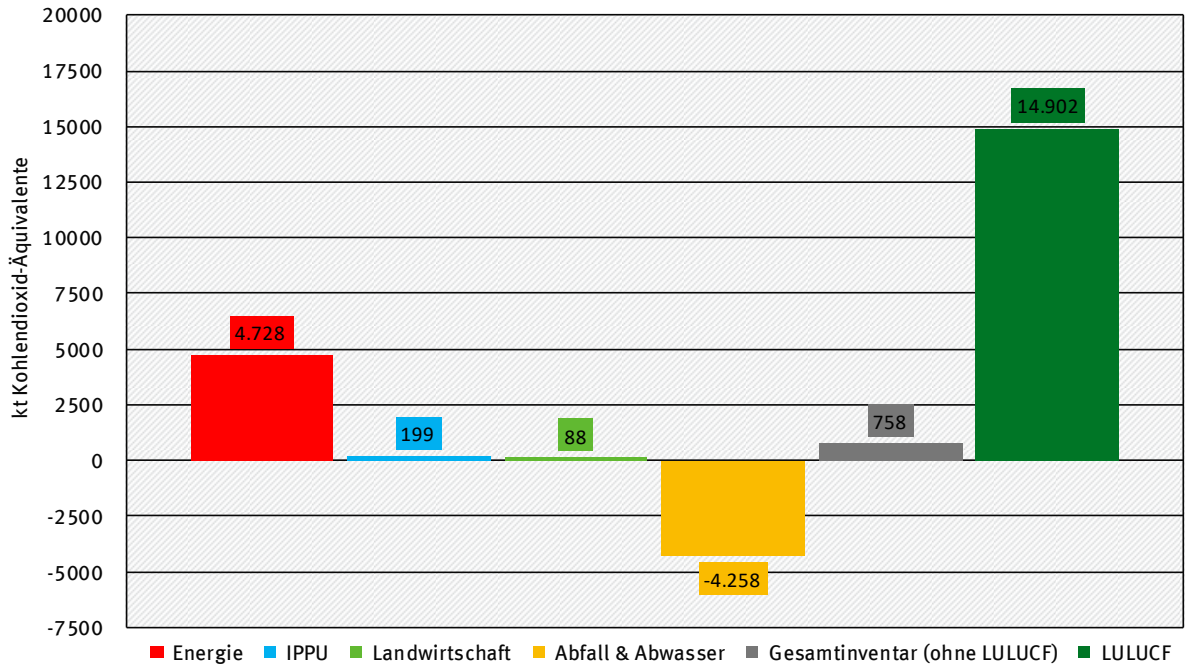
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 469: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission 2020, in kt CO_2-Äquiv. (GWP nach IPCC AR4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung ggü. Subm. 2022	
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	**728.738**	**729.495**	**758**	**0,10%**
1. Energie	608.399	613.128	4.728	0,78%
2. IPPU	55.473	55.672	199	0,36%
3. Landwirtschaft	56.095	56.183	88	0,16%
4. Landnutzungsänderung u. Forstwirtschaft	-11.265	3.637	14.902	132%
CO_2 (Netto-Emissionen/Einbindung)	*-14.650*	*-3.511*	*11.140*	*76,0%*
N_2O + CH_4 (Emissionen)	*3.385*	*7.147*	*3.762*	*111%*
5. Abfall & Abwasser	8.770	4.513	-4.258	-48,6%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 96: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2020 (GWP nach IPCC AR4)



10.3 Auswirkung auf die Emissionstrends und die Konsistenz der Zeitreihe

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 39 % dar. (zum Vergleich: Für das stärker von der Pandemie beeinflusste Jahr 2020 liegt die Mnderung noch bei über 41 %.)

Die reinen CO_2-Emissionen liegen 2021 fast 5 % über den Werten des Vorjahres.

Mit einem Minus von 4,9 % bzw. 2,9 % gehen die Methan- und Lachgasemissionen dagegen weiter zurück.

Die Emissionen der Summe der F-Gase sinken sogar um rund 4,7 %, wobei die Trends der einzelnen F-Gase sich weiterhin uneinheitlich entwickeln.

10.4 Verbesserungen des Inventars

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Verbesserungen der THG-Emissionsberichterstattung aufgrund der Hinweise und Anmerkungen des ERT aus den zurückliegenden

Überprüfungen unter der Klimarahmenkonvention zusammen. Die Tabelle nennt nur Aspekte, die nicht bereits während der Überprüfung gelöst wurden.

Tabelle 470: Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Reference	Reference of reitteration	Resolved in …
0.	ARR 2015/2016:In the NIR (page 768) Germany calculates its commitment period reserve (CPR) to be 4 381 287 024 t CO2 eq. This value has not been updated from the 2014 NIR (page 721) and is not calculated based on the current calculated assigned amount for Germany (3 592 699 888 t CO2 eq). Based on the assigned amount for the second commitment period of the Kyoto Protocol, the ERT calculates the CPR to be 3 233 429 900 t CO2 eq.. ERT: Finding is an issue and/or a problem: Yes	Closed, due to the ending of Kyoto commitment period.	2015, 2016	G.5, Table 5	G.6, 2015; G.5, 2018; G.3, Table 3, 2020 G.1, Table 3, 2022	-
1.A.3.b.	The Party reported in NIR table 59 the CO2 EF for fossil-based gasoline as being up to 75.29 tg/TJ (e.g. for 2017 and 2018), which is higher than the upper value of the default range in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 2, chap. 2) (73.00 t/TJ). In the NIR (p.216), Germany indicated that the comparatively high CO2 EF for gasoline is the result of an adjustment. During the review, the Party clarified that the adjustment was related to the average annual country-specific net calorific value (in kJ/kg fuel), which was lowered significantly after 2014 by the responsible mineral oil authority (until 2014 it was 43.542 kJ/kg; as of 2015 it is 42.281 kJ/kg) resulting in a significantly higher energy-related CO2 EF for gasoline (in t CO2/TJ). Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Resolved	2020	E.5, Table 5	E.3, Table 3, 2022	see NIR chapter 15.7.3
2.C.3.a.	Germany reported that the SF6 EF for secondary aluminium has been reduced to 1.5 per cent owing to “structural conversions” (NIR, section 4.4.3.2). During the review, the ERT requested clarification of what is meant by “structural conversions”. In response, Germany explained that construction changes in the aluminium plant were the cause of the decreased EF. The details of the construction changes were not provided owing to confidentiality concerns. The Party explained that a confidential measurement protocol provided by the plant to the German Environment Agency justified the change in EF, and that the responsible regulatory authority had checked and approved the measurement protocol of the plant. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Transparency	Resolved	2018	I.20, Table 6	I.11, Table 3, 2020; I.6, Table 3, 2022	NIR 2022, chap. 4.4.3.2, p.344
4(V)	The Party reported above-ground biomass stocks as fuel for estimating GHG emissions from biomass burning in NIR table 411. The ERT noted that this is not in accordance with the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, equation 2.27) because fuel also includes litter and deadwood. During the review, the Party acknowledged the missing stocks while noting that biomass burning is an insignificant contributor to national total GHG emissions. The ERT acknowledged this insignificance. Is finding an issue/problem?: Yes. Completeness	Resolved. For forest fire, biomass from the deadwood and litter pools will also be considered for burning as of this submission.	2020	L.16, Table 5	L.12, Table 3, 2022	see NIR chapter 6.4.5, 6.4.2.7.5 and 6.4.2.7.2, Tab 369,

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Reference	Reference of reitteration	Resolved in …
4.	The Party applied a country-specific methodology for estimating SOC changes in mineral soils associated with changes in the use of land, as reported in its NIR (section 6.1.2.1, pp.532–541); that is, it calculated a single national average SOC content for each land-use category and subcategory, as shown in NIR table 534. The ERT noted that this is not in accordance with the good practice established in the 2006 IPCC Guidelines (vol. 4, chaps. 2, 4, 5 and 6, and equation 2.25), which requires stratification of the entire population (SOC in mineral soils across the entire national territory) by climate zone, soil type, use of land and management practice of land with the aim of minimizing, so far as practicable, the variability of the average factors to avoid any biases, so far as can be judged, and minimizing uncertainties, so far as practicable. The methodology applied by Germany does not stratify SOC values by climate zone, soil type or management practice. The ERT noted that the Party's limited stratification of SOC compared with the IPCC default stratification means that uncertainty is not reduced as far as practicable. A method that uses the average SOC values of national conditions for each reported category or subcategory can only be valid if land-use conversions are assumed to occur for each land category in equal proportion to the spatial distribution of the SOC content within that category. The NIR does not provide evidence for the assumption that the distribution of SOC values, and associated mean, in each land category corresponds to the distribution, and associated mean, of the areas within the relevant land-use change category. It is therefore not possible to state that the SOC change estimates are accurate, as for instance when land-use changes occur preferentially in a subset of the land category population; for example, the conversion of grassland to forest land is very likely to occur on the less productive land, which very likely has a lower SOC content than the average calculated across the entire area of the grassland. During the review, the Party clarified that the problem is known and the solution is progressing under the stepwise implementation of a new German soil reporting system, as follows: step 1, implementation of new nationwide EFs derived from the results of nationwide soil inventories; step 2, implementation of a new reporting method; step 3, full automation of the German LULUCF reporting system; and step 4, regionalization of the soil inventory results. While the implementation of steps 1 to 3 will inform the next inventory submission, step 4 is expected to be implemented later. The new soil reporting system, once completed, will stratify SOC according to use and natural and site-specific conditions (e.g. geomorphology, parent material, regional climate zone). Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Resolved. "With this submission, Germany implemented the ERT recommendation from the 2020 review process (ARR 2020: L.8, Table 5) and regionalized the carbon and nitrogen stocks of mineral soils. "	2020	L.8, Table 5	L.1, Table 3, 2022; L.2, Table 3, 2022	see NIR chapter 6.4.2.5, 6.1.2.1.9
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 (CO_2) (see ID# L.13 in table 5); (b) 4(V) biomass burning – DOM stocks (CH_4 and N_2O) (see ID# L.16 in table 5); (c) FM (CO_2 and N_2O) (see ID# KL.15 in table 5); (d) CM (CO_2) (see ID# KL.18 in table 5).	Resolved. Description is given in the resp. chapter.	2020	Annex III		see NIR 2022, chapter: 6.1.2.1

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Reference	Reference of reitteration	Resolved in …
5.A.1.	During the review, Germany outlined plans for future improvement to the estimates of solid waste disposal through research into the decay profiles of individual waste types and decay rates (DOCf and k). According to the information provided during the review, when completed, this work will enable Germany to more accurately report its landfill emissions. The ERT commends Germany for its efforts to further improve the solid waste emission estimates in the inventory, especially given their diminishing significance in terms of the contribution to overall national emissions. ERT: Finding is an issue and/or a problem: Not an issue	Resolved. The DOCf for the wood and straw fraction is adjusted in the 2023 reporting according to recent studies and evaluations ((Stegmann et al, 2018, pp. 68-73). According to the same study, the DOCF is assumed to be 0.5 for the other fractions as before, which corresponds to the IPCC Defaults.	2015, 2016	W.7, Table 5		see NIR-Chapter 7.2.1.2.5
5.A.1.	Table 430 of the NIR presents half-lives and CH4 formation rates (k-values). The k-values do not match the IPCC defaults to which references are made in the table. For example, for food waste, a k-value of 0.173 is given in the table while the IPCC default is 0.185 (2006 IPCC Guidelines, volume 5, table 3.3). For some of the other waste fractions, there are slight differences. It is clear that this issue has arisen from rounding when converting between half-lives and k-values. However, the k-values are being used in the emission calculations, and the 2006 IPCC Guidelines state that the half-lives are based on k-values and not the other way around. During the review, Germany explained that an earlier version of the IPCC spreadsheet model for solid waste disposal on land used half-lives rather than k-values and that the Party had continued to apply this model. Germany informed the ERT that two research projects are under way to determine national k-values. The ERT noted that given that the landfilling of food waste has decreased significantly since 2005, there is an overestimation of emissions in the most recent years. Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Accuracy	Resolved. The k-Values have been updated with emission reporting 2023.	2018	W.11, Table 6	W.2, Table 3, 2020; W.1, Table 3, 2022	see NIR 2023 chapter 7.2.1.2.7
KP-CM	see ARR 2020 L.9, L.10 and L.12 (Laufende Nr.: 6571 + 6572 + 6574) Is finding an issue/problem?: Yes. Completeness	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.18, Table 5	KL.11, Table 3, 2022	-
KP-CM - GM	see ARR 2020 L.14 (Laufende Nr.: 6576) Is finding an issue/problem?: Yes. KP reporting adherence	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.19, Table 5	KL.12, Table 3, 2022	-
KP-Deforestation	The Party reported in the information item of CRF table 4(KP-I)A.2 the area of deforested lands disaggregated by final land use, although it did not report the annual carbon stock changes in each carbon pool. Is finding an issue/problem?: Not a problem	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.12, Table 5		-

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Reference	Reference of reitteration	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	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.13, Table 5	KL.4, Table 3, 2022	-
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	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.14, Table 5	KL.5, Table 3, 2022	-
KP-FM	see ARR 2020 L.9 Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.16, Table 5	KL.7, Table 3, 2022	-
KP-LULUCF	see ARR 2020 L.8 Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.10, Table 5	KL.2, Table 3, 2022	-

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Reference	Reference of reitteration	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 2013–2018, 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	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.14, Table 5	KL.5, Table 3, 2022	-
KP-FM	see ARR 2020 L.9 Is finding an issue/problem?: Yes. Transparency	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.16, Table 5	KL.7, Table 3, 2022	-
KP-LULUCF	see ARR 2020 L.8 Is finding an issue/problem?: Yes. Accuracy	Closed - as KP-Inventory-Reporting is no longer carried out.	2020	KL.10, Table 5	KL.2, Table 3, 2022	-

Alle Maßnahmen zielen auf volle Konsistenz mit den UNFCCC-Berichtsguidelines und den IPCC-Guidelines ab.

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 471: 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	Year of reporting	Reference NIR-chapter	Resolved in
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.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.B.2	Additional measurement campaigns for determination of emissions from natural gas networks are currently underway in Germany. These measurements are oriented to the guidelines of the "Oil and Gas Methane Partnership (OGMP)" created by the Climate and Clean Air Coalition (CCAC) and the United Nations Environmental Programme (UNEP). Tentative plans call for integration of the relevant finding within future reports. In the area of end-user emissions (1.B.2.b.vi), some overlapping with emissions from 1.A.1., 1.A.2 and 1.A.4 occurs. Review is thus needed to determine whether any double-counting is occurring in this area.	The reporting is to be updated based on the results of the measurement campaigns.	[2024]	open	ongoing	2023	3.3.2.6	
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]	done	Resolved. Results of the measurement campaigns have been included in the NIR	2021	3.3.2.6	see NIR chapter 3.3.2.2.4 - 3.3.2.2.6

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Year of reporting	Reference NIR-chapter	Resolved in
2.B.2	The emissions data for the one small producer who was unable to carry out measurements completely in 2021 are to be corrected in the next submission.	The emission data for the one small producer who was unable to carry out measurements completely in 2021 should be corrected in the next submission.	[2024]	open	ongoing	2023	4.3.2.6	
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]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2022	4.3.7.6	
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.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]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2021	4.9.2.6	
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]	done	Resolved. "With this submission, Germany implemented the ERT recommendation from the 2020 review process (ARR 2020: L.8, Table 5) and regionalized the carbon and nitrogen stocks of mineral soils."	2022	6.1.2.1.9	see NIR chapters 6.4.2.5 & 6.1.2.1.9
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]	done	Resolved. The calculation of carbon stock change for mineral soils is based on the overlap method and uses a Tier 2 and Tier 3 approach of (2006 IPCC Guidelines - Equ. 2.25, IPCC (2006a)). Detailed description is given in the resp. chapters.	2022	6.1.4	see NIR chapters: chapter 6.1.2.1.3, 6.4.2.5.1, 6.4.2.5.3 and 6.4.2.5.4
4.	The planned improvements for the coming years include the following: Introduction of models for calculation of carbon and nitrogen stocks in mineral soils in the land-use category Cropland. This will have to be preceded by the development of a model for derivation of complete-coverage, regionalised cultivation data from the database of the EU's Integrated Administration and Control System (IACS) (in progress).	Introduction of models for calculation of carbon and nitrogen stocks in mineral soils in the land-use category Cropland. This will have to be preceded by the development of a model for derivation of complete-coverage, regionalised cultivation data from the database of the EU's Integrated Administration and Control System (IACS) (in progress).	[2026]	open	ongoing	2023	6.1.2.1.9	

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Year of reporting	Reference NIR-chapter	Resolved in
4.	The planned improvements for the coming years include the following: Introduction of model-based calculation of carbon and nitrogen stocks in mineral soils in the land-use category Grassland. No truly reliable data sets are available for validation of models in the area of Grassland. Development of such calculation, therefore, will depend on the availability of results of repeat soil-inventory sampling (this commenced in 2022).	Introduction of model-based calculation of carbon and nitrogen stocks in mineral soils in the land-use category Grassland. No truly reliable data sets are available for validation of models in the area of Grassland. Development of such calculation, therefore, will depend on the availability of results of repeat soil-inventory sampling (this commenced in 2022).	[2028]	open	ongoing	2023	6.1.2.1.9	
4., 4.D	The planned improvements for the coming years include the following: Implementation of regionalised carbon and nitrogen stocks for mineral soils in the land-use category Terrestrial wetlands	Implementation of regionalised carbon and nitrogen stocks for mineral soils in the land-use category Terrestrial wetlands	[2024]	open	ongoing	2023	6.1.2.1.9 + 6.7.6	
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]	done	Resolved. Detailed description is given in the resp. chapters.	2022	6.5.6	see NIR chapter 6.1.2.1.4 & 6.5.2.3.2
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]	done	Resolved. Detailed description is given in the resp. chapters.	2022	6.6.6	see NIR chapter 6.1.2.1.4 & 6.6.2.3.2
4.D	The following short-term measures for inventory improvement are planned for the land-use category Wetlands: Consolidation of activity data sets for the sub-categories Standing man-made water bodies and Flowing man-made water bodies	Consolidation of activity datasets for the Standing man-made water bodies and Flowing man-made water bodies.	[2024]	open	ongoing	2023	6.1.4, 6.7.6	
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]	done	Resolved. Detailed description is given in the resp. chapters.	2022	6.7.6	see NIR chapters 6.1.2.1.7 & 6.7.2.3

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Year of reporting	Reference NIR-chapter	Resolved in
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]	done	Resolved. Detailed description is given in the resp. chapters.	2022	6.8.6	see NIR chapter 6.1.2.1.6 & 6.8.2.3
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]	done	Resolved. Due to the differences between the statistically recorded values and the estimated landfill gas quantity, several research projects have been initiated by UBA in recent years. With the adoption of the research-results (Stegmann et al, 2018) as of the 2023 report, this difference have dissolved.	2013	8.2.1.6	see NIR chapter 7.2.1.2.3 ff
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]	done	Resolved. The results of the research projects have been adopted with the emission reporting 2023.	2019	7.2.1.6	see NIR chapter 7.2.1.2.3 ff
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 DOCf 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]	done	Resolved. The results of the research projects have been implemented with the emission reporting 2023	2020	7.2.1.6	see NIR chapter 7.2.1.2.3 ff

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Year of reporting	Reference NIR-chapter	Resolved in
5.D.1.	In the area of wastewater treatment, only CH_4 emissions from open cesspools and N_2O 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.	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]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.	2022	7.5.1.1.6 + 7.5.1.3.6	

10.4.1 Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments

Tabelle 472: Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments, Article 9.1

Member State:	Germany
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2022

CRF category / issue	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation	Chapter/section in the NIR
The ARR 2022 was issued in March 2023, which was too late to implement its recommendations into the 2023 reporting.				

11 Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten

11.1 Background information

Chapter 11 and 0 include information on the German emission trading registry. The accounting on Kyoto units and the public availability of information is described in chapter 11. Any significant changes in the national registry are reported in chapter 0.

11.2 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.

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.

11.3 Discrepancies and Notifications

15/CMP.1 annex I.E paragraph 12 List of discrepant transactions	No discrepant transactions occurred in 2022.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 13 and 14 List of CDM notifications	No CDM notifications occurred in 2022.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 15 List of non-replacements	No non-replacements occurred in 2022.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 16 List of invalid units	No invalid units exist as at 31 December 2022.
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.

11.4 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	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.

Joint implemention project information	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 2022, 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**

11.5 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_{2eq} equivalent) calculated pursuant to Article 3 paragraphs 7 and 8 of the Kyoto Protocol as this yields less than eight times of its most recently reviewed inventory. The emissions in 2020 where 728,737,600 tonnes CO_{2eq}. Eight times his amount yields 5,829,901,000 tonnes CO_{2eq}.

The initial CPR of the current commitment period did not change and is still 3,233,429,900 tonnes CO_{2eq} (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 Informationen zu Änderungen in den Nationalen Registern

The following changes to the national registry of Germany have occurred in 2022. Note that the 2022 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	No change regarding the cooperation arrangement occurred during the reported period..
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(c) Change to database structure or the capacity of national registry	There has been 3 new EUCR releases (versions 13.6.1, 13.7.1 and 13.8.2) after version 13.5.2 (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 13.6.1, 13.7.1 and 13.8.2 compared with version 13.5.2 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) Change regarding security	No changes regarding security occurred during the reported period.
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/2022/DEU published 2.3.2022) contains no recommendations regarding the registry. Recommendations from former annual review reports (specifically FCCC/ARR/2020/DEU) have been addressed in the last NIR.

13 Weitere Informationen

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

14 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.

14.1 Beschreibung der Methoden zur Festlegung der Hauptkategorien

In Tabelle 5, 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 (2006a): Vol. 1) wird verwiesen.

14.1.1 Methode-1-Verfahren

Im Ergebnis der **Level-Analyse** werden die Kategorien als Hauptkategorien (•) festgelegt, die im Basisjahr (1990 bzw. 1995 für die F-Gase), 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 (2006a): 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 (2006a): Vol. 1).

In der folgenden Tabelle findet sich die vollständige Liste aller in der Analyse berücksichtigten Unterkategorien.

Tabelle 473: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz (vollständige Liste, mit IPCC AR5-GWP gerechnet)

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2021	Level 2021 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +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 2021	Level 2021 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +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	-	-	-	-	-	-	•	-	-/T
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/T
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 2021	Level 2021 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +LULUCF	KCA decission
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 1, Ammonia Production		CO2	•	•	•	•	•	•	-	-	L/-
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	-	-	-	-	-	-	•	•	-/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 Chemical Industry		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 10, Other Chemical Industry		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 2021	Level 2021 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +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	-	-	-	-	-	-	•	•	-/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/-
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/-
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 and leaching	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 D, Agricultural Soils		N2O	•	•	•	•	•	•	•	•	L/T
3 G, Liming		CO2	-	-	-	-	•	•	•	•	L/T
3 H, Urea Application		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2021	Level 2021 +LULUCF	Trend 2021	Trend 2021 +LULUCF	KCA decission
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
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	-	•	-	•	-	•	-	•	L/T
4 D, Wetlands		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
4 E, Settlements		CO2	-	-	-	-	-	-	-	•	-/T
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

14.1.2 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 6, Kapitel 1.5.1 genannten Kategorien.

14.1.3 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 (2006a): 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.

15 Anhang 2: Detaillierte Erläuterung der Methoden und Daten zur Berechnung von CO_2 Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen

15.1 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 BMWK erstellt wird. Die wichtigste Datenquelle für die Energiebilanz ist das *Statistische Bundesamt.* Daten zu den erneuerbaren Energieträgern werden von der *Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) ermittelt und bereit gestellt.* 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.

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 des *Statistischen Bundesamts (StBA)* sind in der Tabelle 476: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA aufgelistet. In die endgültige Energiebilanz fließen weiterhin Daten der Verbände Deutsches Atomforum und Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein (DEBRIV) sowie Daten des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft, des Gesamtverbands Steinkohle (GVSt),und des Wirtschaftsverbands Fuels und Energie (en2x) ein.

Hinzu kommen in einer Reihe von Fällen persönliche Expertenmitteilungen, z.B. zur Darstellung des nichtenergetischen Verbrauchs seitens der chemischen Industrie.

Ferner wurde durch das seinerzeitige 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.

Über die letzten Jahre gab es erhebliche Bemühungen der deutschen Energiestatistik-Experten, die Differenzen zwischen der vorläufigen und endgültigen Energiebilanz zu minimieren. Im Jahr 2020 konnte das Statistische Bundesamt erfolgreich einen EU-Grant: „improvement of timeliness of energy statistics“ von EUROSTAT einwerben, der im Rahmen eines Projekts die Datenbereitstellung für das Jahr x-1 durch das Statistische Bundesamt an die AGEB bereits im August ermöglichen sollte. Das Projekt wurde 2020 begonnen und umfasste die Statistischen Landesämter, die für die konkreten Erhebungen zuständig sind. Es wurden für die Erstellung der Energiebilanz und der Emissionsinventare wichtige Erhebungen zeitlich priorisiert, so dass das Statistische Bundesamt im Juli 2020 auf Basis der bis zum Stichtag erhobenen Daten über die Anwendung von Imputationsverfahren einen vollständigen Datensatz für das Jahr 2019 hochrechnen konnte. Im Juli 2021 wurden die entwickelten Methoden erstmals im Routinebetrieb angewendet. Die Qualitätssicherung der Methoden erfolgte im Oktober 2021 über einen Vergleich der Hochrechnungsergebnisse mit den endgültigen Erhebungsdaten 2020. Die sich anschließenden methodischen Verbesserungen konnten im Erhebungsjahr 2022 für die erstmalige Erstellung einer deutlich verbesserten auf Hochrechnungen basierten vorläufigen Energiebilanz 2021 genutzt werden. Die Terminkette im Datenfluss wurde zwischen den beteiligten Institutionen so fein abgestimmt, dass mit kürzesten Bearbeitungszeiten für einzelne Prozesschritte eine Datenverwendung für die Inventarerstellung 2023 erfolgen kann.

15.2 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 und
- die Bestandsaufstockungen

von Energieträgern dargestellt und zum ***Primärenergieverbrauch*** zusammengefasst. 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 Endverbrauchssektoren genutzt werden kann. (Die letztlich benötigte Energie (z. B.Arbeit, Licht, Raum- und Prozesswärme) ist davon zu unterscheiden und wird nicht in der EB ausgewiesen (AGEB, 2015). 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 für 30 Energieträger dargestellt. Diese Energieträger können den folgenden Hauptgruppen zugeordnet werden:

- Steinkohlen,
- Braunkohlen,
- Mineralöle (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),
- Elektrischer Strom und sonstige Energieträger (nichterneuerbare Abfälle, Abwärme).

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 inkl. 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 sowie 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.

Um den Bedürfnissen der Emissionsberichterstattung nach Aktualität Rechnung zu tragen, wird dem UBA von der AGEB beginnend im Jahr 2022 jährlich Ende August eine vollständige vorläufige Energiebilanz für das Jahr x-1 für die Inventarerstellung zur Verfügung gestellt, die auf den hochgerechneten Statistiken des Statistischen Bundesamtes beruht. Die endgültige Energiebilanz legt die AGEB dem UBA planmäßig im darauf folgenden Februar (dann für das Jahr x-2) vor. Die Veröffentlichung erfolgt etwa im April.

15.3 Methodische Aspekte: Energiebedingte Aktivitätsraten

Die im UBA erstellten Inventare für Luftschadstoffe und Treibhausgase bauen auf den von der AGEB 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 die 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. Eine genaue Beschreibung der Kategorie 1.A.1.c erfolgt im Kapitel 3.2.6.2.
- Der Erdgaseinsatz in den Kompressoren konnte für die Jahre 1995-2002 direkt 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 des NIR 2022.
- 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 der Kategorie *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 bei der Roheisenherstellung 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.

15.4 Unsicherheiten, Zeitreihenkonsistenz und Qualitätssicherung der Energiebilanz

Mit Einführung des Energiestatistikgesetzes im Jahr 2003 hatte sich die wesentliche Datengrundlage der EB relativ verbessert, aufgrund der Dynamik im Energiesektor wurde aber schon bald eine Novellierung des Energiestatistikgesetzes erforderlich. Mit der aktuell gültigen Novelle des Energiestatistikgesetzes 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 erfolgte 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 [142]
- Anmerkungen zu den Änderungen in den Energiebilanzen 2003 bis 2007 [143]
- Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009 [144]
- Methodische Änderungen in der Energiebilanz 2012 [145]
- Erläuterungen zu den Energiebilanzen (Bearbeitungsstand November 2015) [146]

Im Oktober 2021 hat die AGEB auftragsgemäß einen Bericht zum „Revisionsbedarf in der Energiebilanz Deutschland“ erstellt. In Umsetzung von Vorschlägendieses Berichts erfolgt voraussichtlich im Jahr 2023 eine Revision der Zeitreihen.

15.4.1 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 gemeinsamen Qualitätsbericht vor. Im Rahmen des Auftrags für die Energiebilanzen werden als Qualitätssicherungsmaßnahme, ab dem Jahr 2020 die Energiebilanzen in Zeitreihen erstellt und geliefert, so dass Zeitreihensprünge besser als bisher bei der Datenkompilierung erkannt werden können.

Der Inhalt des aktuellen Berichts wird im Folgenden wortgetreu veröffentlicht (kenntlich über andere Schriftart).

15.4.1.1.1 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 2020.

[142] http://www.ag-energiebilanzen.de/#revision_der_eb_2003_bis_2006
[143] http://www.ag-energiebilanzen.de/#aktualisierungen_der_energiebilanzen_2003_bis
[144] http://www.ag-energiebilanzen.de/#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05
[145] http://www.ag-energiebilanzen.de/#methodische_aenderungen_der_eb_2012
[146] http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=vorwort.pdf

15.4.1.1.2 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. 066K (Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung 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.

15.4.1.1.3 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.htm [147], zuletzt aufgerufen am 02. Februar 2022.

Außerdem werden *Angaben aus der amtlichen Mineralölstatistik (AMS) des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)* verwendet:

BAFA - Energie - Amtliche Mineralöldaten Dezember 2020, zuletzt aufgerufen am 02. Februar 2022.

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:

[147] 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.

- *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 1309 bzw. 2012 Tausend Tonnen in den Jahren 2017 und 2018 angestiegen.

Bei Flüssiggas macht sich das erst ab 2018 bemerkbar. Hier ist ein sprunghafter Anstieg beim Umwandlungseinsatz bei den Raffinerien von 71 Tausend Tonnen im Jahr 2017 auf 595 Tausend Tonnen im darauffolgenden Jahr zu verzeichnen..

https://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloelstatistik/mineraloel_node.html, zuletzt aufgerufen am 1. Februar 2021.

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 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 Lagerbestandsveränderungen (Vordruck 4a) (ab Berichtsjahr 2019 eingestellt).

für die Braunkohle:

- Daten über 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 Jahre 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.

15.4.1.1.4 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 Wärmeerzeugung 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 hatte 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-WärmeKopplung 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.[148]

[148] 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

15.4.1.1.5 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 der 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.
- 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 BMWK 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.

Rahmenbedingungen in der Energiewirtschaft angepasst. Bestehende Datenlücken, vor allem in den Bereichen erneuerbare Energien, KraftWärme-Kopplung (KWK) und Wärme wurden geschlossen. Die Anwendung des novellierten EnStatG erfolgte für die Monatserhebungen ab dem Berichtsmonat Januar 2018.

15.4.1.1.6 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 BMWK 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 einem 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.

15.4.1.1.7 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.

15.4.1.1.8 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 2020 waren im März 2021 verfügbar; die jährliche Erhebung 064 (Wärmeerzeugung) im Dezember 2021, die 067 (Stromerzeugungsanlagen der Industrie) war im Oktober 2021 verfügbar, die 070 (Einspeisungen) im Dezember 2021 und die 073 (Klärgaserhebung) war im September 2021 verfügbar, die 082 (Gas) lag im Dezember 2021 vor. Die Ergebnisse der Erhebung 062 (Geothermie) sowie die Ergebnisse der 063 (Biotreibstoffe) lagen im Dezember 2021 vor. Die Ergebnisse der Erhebungen 066 (Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung) und 067 (Stromerzeugungsanlagen der Industrie) müssen mit der Finnischen Methode umgerechnet werden. Berechnungen, Prüfvorgänge und 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 Dezember 2021 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 sind die Auswertungstabellen zu erstellen, 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.

Tabelle 474: Daten für das Jahr 2020:

Erhebende Institution	Statistik-Nr.	Veröffentlichungsdatum
Statistisches Bundesamt	060	Dez. 2021
	062	Dez. 2021
	063	Dez. 2021
	064	Dez. 2021
	066	Dez. 2021
	067	Okt. 2021
	070	Dez. 2021
	073	Sept. 2021
	075	Sept. 2021
	082	Dez. 2021
BAFA	Amtliche Mineralölstatistik	14. Juni 2021

Tabelle 475: Daten für das Jahr 2019:

Erhebende Institution	Statistik-Nr.	Veröffentlichungsdatum
Statistisches Bundesamt	Energiesteuer 2019, Tab. 2.3 Erdgas	21. Juni 2021

Verbandsstatistiken

In die endgültige Energiebilanz fließen auch Daten von Verbänden ein (s.o.), die frühzeitig vorliegen. Daten des Bundesverbands Erdgas und Geothermie (BVEG) werden für Fackelverluste sowie Daten von Zukunft Erdgas, 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 Bruttostromerzeugungsowie Daten der Statistik der Kohlenwirtschaft, des Mineralölwirtschaftsverbands (EN2X) und des Deutschen Atomforums ein.

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-KWKAnlagen (< 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 476: 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	Angaben nach Anlagen für das Heizwerk. Leistung, Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende; Zusammenfassung aller Anlagen Leistung und Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende 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 Angaben für Wärmenetze Wärmebilanz		Alle Betreiber von Heizwerken ab einer installierten Nennleistung von 1 MW_{th} 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	Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit Brennstoffeinsatz, Brennstoffbestand sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Anlage im Berichtsmonat Abgabe der Wärme im Berichtsmonat 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 MW_{el} 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 MW_{el} 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	Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit und Engpassleistung nach Anlagenart, Primärenergieeinsparung 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 MW_{el} einschl. der KWK-Anlagen
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.

Erhebung	Nr.	Erhebungszeitraum	Aktualität gemäß Qualitätsbericht	Angaben	Erhebungskreis	Erhebungseinheiten
Jahreserhebung über Erzeugung und Verwendung von Wärme sowie über den Betrieb von Wärmenetzen	064	jährlich	Ende des Folgejahres	Angaben nach Anlagen für das Heizwerk. Leistung, Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende; Zusammenfassung aller Anlagen Leistung und Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende 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 Angaben für Wärmenetze Wärmebilanz		Alle Betreiber von Heizwerken ab einer installierten Nennleistung von 1 MW_{th} 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	Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit Brennstoffeinsatz, Brennstoffbestand sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Anlage im Berichtsmonat Abgabe der Wärme im Berichtsmonat 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 MW_{el} 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 MW_{el} 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	Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit und Engpassleistung nach Anlagenart, Primärenergieeinsparung 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 MW_{el} einschl. der KWK-Anlagen
Monatserhebung über die Gasversorgung	068	monatlich	42 Tage nach Abschluss des Berichtsmonats	Gewinnung und Eigenverbrauch von Erdgas (oberer Heizwert) Ein- und Ausspeisung von Erdgas, Biogas, Eigenverbrauch 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	Monatserhebung über die Gasversorgung
Jahreserhebung über die Stromein- und –ausspeisung bei Netzbetreibern	070	jährlich	12 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Netznutzungsentgelte für Sondervertragskunden Netzeinspeisungen nach Energieträgern Netzausspeisung KWK-Anlagen unter 1 MW Nettonennleistung Summe aller Bundesländer A - D	Alle Betreiber von Stromnetzen für die allgemeine Versorgung	Jahreserhebung über die Stromein- und –ausspeisung bei Netzbetreibern
Jahreserhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas	073	jährlich	8 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas Klärschlammeinsatz auf der Kläranlage zur Erzeugung von Strom und Wärme Installierte Leistung der Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärgas Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärschlamm	Alle Betreiber von Anlagen, die Klärgas erzeugen oder Klärschlamm zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme einsetzen	Jahreserhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas
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 die Abgabe von Flüssiggas
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	Jahreserhebung über Gasabsatz und Erlöse in 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 [149]

[149] Das Statistische Bundesamt veröffentlicht auf seiner Internetpräsenz ausschließlich die Qualitätsberichte nach dem neuen EnStatG 2017. Qualitätsberichte nach dem alten EnStatG sind online nicht mehr verfügbar.

15.5 REGELMÄßIGER VERGLEICH VON ENERGIEBILANZEN

15.5.1 Vergleich der Energiebilanz 2020 mit der Schätzbilanz 2020

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 auffällige Positionen nach Energiebilanzspalten und –zeilen analysiert. Als Schwellenwerte werden Abweichungen von 10.000 TJ und 20 % zugrunde gelegt.

Für den Vergleich der Energiebilanz 2020 mit der Schätzbilanz 2020 resultieren bei diesen Kriterien 19 Positionen (einschließlich Summen), die in der folgenden Übersicht dargestellt sind und im Folgenden erläutert werden.

Tabelle 477: Übersicht: Auffällige Positionen beim Vergleich der Energiebilanz 2020 mit der Schätzbilanz 2020

EB-Spalte	EB-Zeile	TJ	%	Erläuterungen
Steinkohle	Statistische Differenzen	-34.855	-90,5	Differenz aus Aufkommen und Verwendung
Steinkohle	ENDENERGIEVERBRAUCH	-47.378	-23,2	berechnet
Steinkohle	Metallerzeugung	-51.277	-30,2	Schätzfehler
Steinkohle	Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe insg.	-47.378	-23,2	Schätzfehler
Koks	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	10.518	59,6	berechnet
Andere BKP	Statistische Differenzen	12.038	114,2	Differenz aus Aufkommen und Verwendung
Andere BKP	ENDENERGIEVERBRAUCH	12.420	22,4	berechnet
Andere BKP	Verarbeitung v. Steine u. Erden	15.988	39,0	Schätzfehler
Andere BKP	Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe insg.	12.420	22,4	Schätzfehler
HEL	Statistische Differenzen	50.204	-100,0	Differenz aus Aufkommen und Verwendung
HEL	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	56.912	51,1	Schätzfehler
HS	Statistische Differenzen	10.038	-38,0	Differenz aus Aufkommen und Verwendung
Erdgas	Mineralölverarbeitung	18.935	41,3	Schätzfehler
Erdgas	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	19.591	23,9	Summe
Erdgas	Statistische Differenzen	50.852	-53,5	Differenz aus Aufkommen und Verwendung
PET	**Mineralölverarbeitung**	**18.947**	**41,2**	**Summe**
SET	**Statistische Differenzen**	**79.468**	**-95,8**	**Summe**
SET	**Verarbeitung v. Steine u. Erden**	**24.209**	**28,3**	**Summe**
Summe	**Statistische Differenzen**	**86.392**	**-64,2**	**Summe**

15.6 Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung

Seit 2012 erarbeitet das Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit BMWK, 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 478: 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	BMWK/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	BMWK/AGEB / StBA/StaLas	BMWK	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	BMWK/AGEB/St BA/StaLas	BMWK/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	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
					(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	BMWK/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. Seit dem 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	BMWK/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	Jährliche Energiedatenworkshops seit 2010	seit 2010 fortlaufend	
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	BMWK, AGEB, Fragebogenbeauftragte	BMWK	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-Forschungsinstituts an AGEB bzw. BMWK. Die Überleitung wurde im Zuge der umfassenden Revision der Fragebögen erfolgreich umgesetzt. In anderen	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
								Bereichen der Fragebögen bzw. Bilanz werden die Bemühungen zur Minimierung von Abweichungen weiter fortgesetzt. Berichte der AGEB zu Plausibilitätschecks Revision des Questionnaires 2003-2011. Geplante Revision der NEB 2023		
6.2	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMWK, AGEB, Fragebogenbeauftragte	BMWK	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	fortlaufend	
6.3	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMWi, AGEB	BMWK		*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*		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	Ende 2018	

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
					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.			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. Im ausgeschriebenen Auftrag zur Erstellung der Energiebilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 wurdedie 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.	Anfang 2022	
7.1	Verbesserung Gasbilanz	BMWK/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		Apr 12 erledigt	
7.2	Verbesserung Gasbilanz	BMWK/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 ,	Revision der NEB	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
							Außenhandel, Bestandsveränderung, NEV, EEV in den Energiebilanzen 2005 und Folgende			

15.7 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, 2006a).

Eine ausführlichere Beschreibung findet sich im Bericht: CO_2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe - Aktualisierung 2022 (Juhrich, 2022).

15.7.1 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:

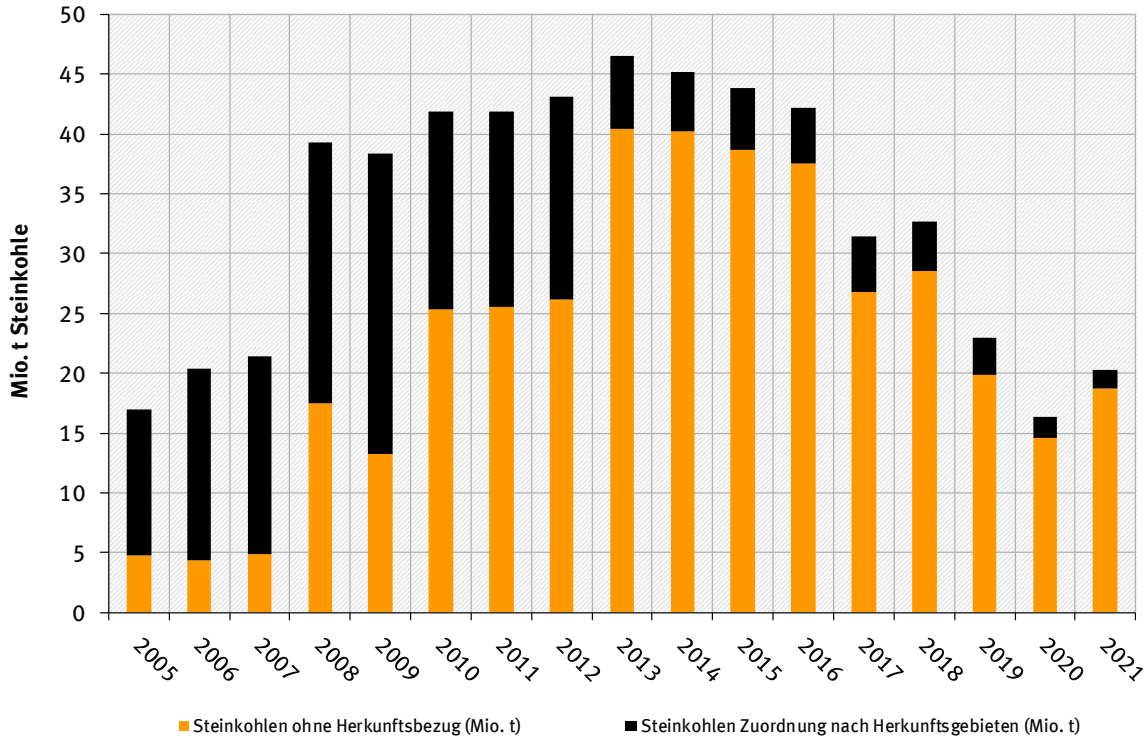
Tabelle 479: Vergleich der CO_2-Emissionsfaktoren für die Steinkohlen

[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 97: Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen

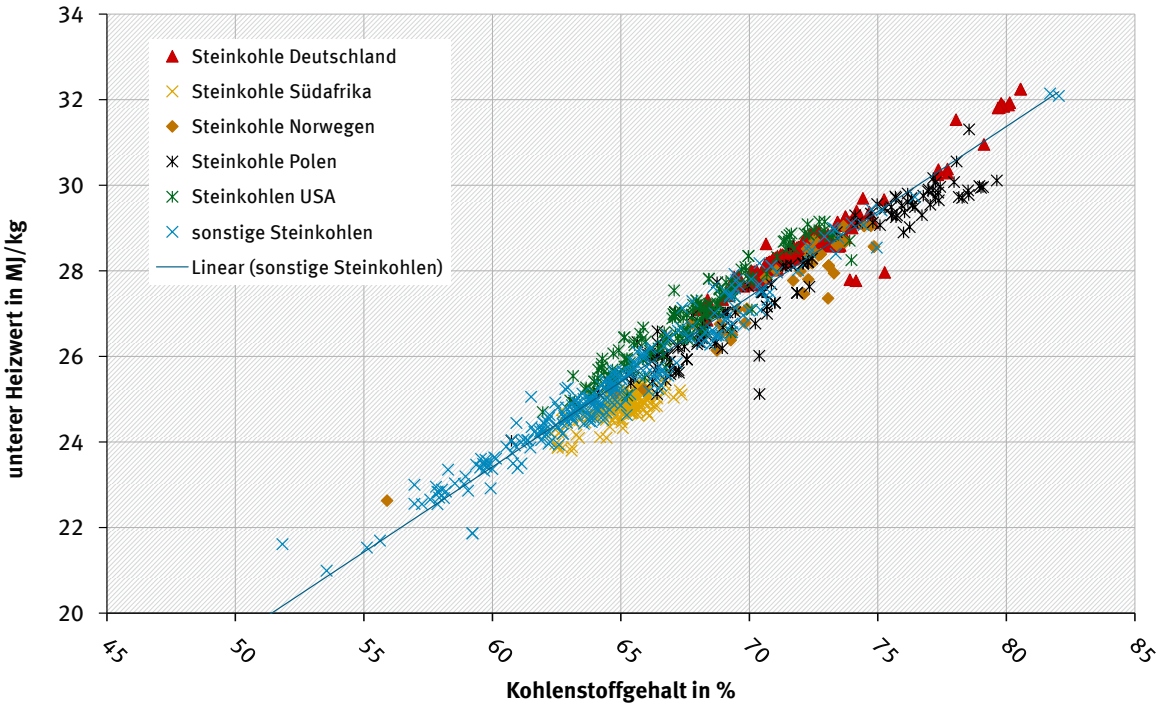


Dabei zeigt sich, dass aufgrund der Änderung der Regelungen die Qualität der Werte, vor allem ab dem Jahr 2008 deutlich ansteigt. Zum anderen fällt auf, dass die Menge der Steinkohlen, die sich eindeutig einem bestimmten Abbaugebiet zuordnen lässt, deutlich abnimmt. Von daher ist die Bildung eines gewichteten 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 98: 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..

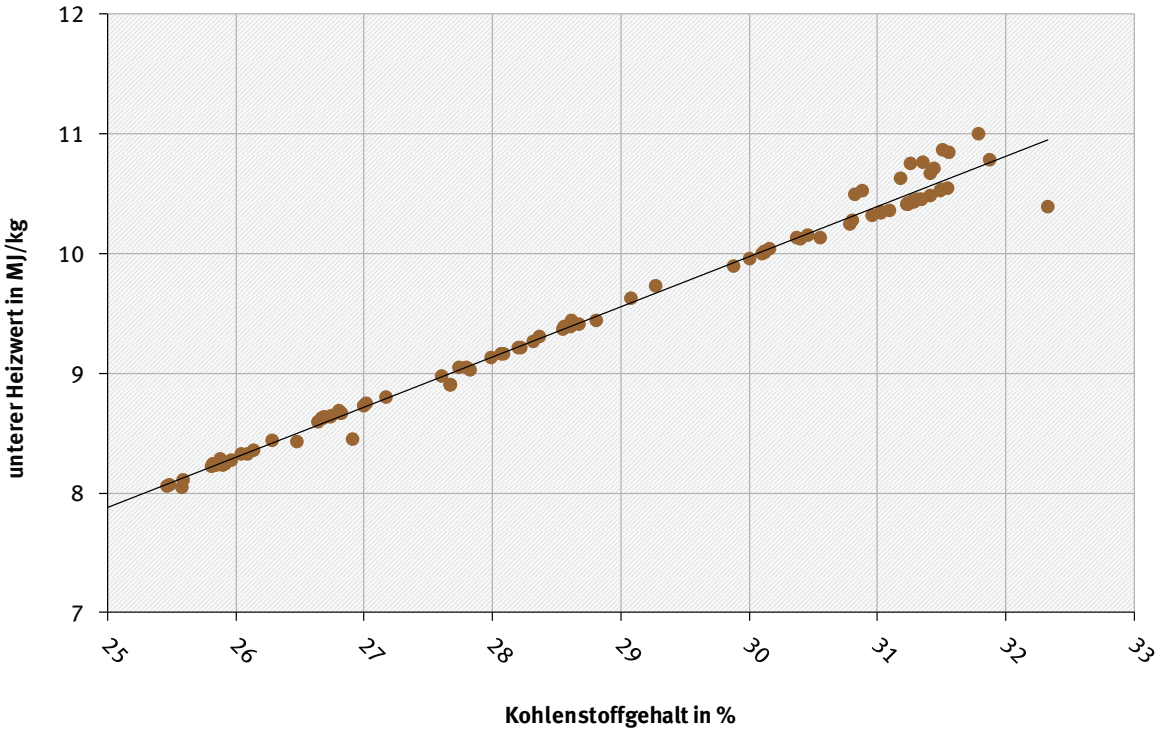
Bezüglich **Steinkohlenkoks** wurde für alle anderen Industriezweige eine energiebezogener CO_2 Emissionsfaktor als Mittelwert aus den Emissionshandelsdaten für die Jahre 2005 – 2013 berechnet. Für die Folgejahre weichen die Emissionsfaktoren nur geringfügig ab, so dass mit dem Mittelwert weiter gerechnet 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.

15.7.2 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 99: 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 99 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.

15.7.3 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 des DGMK Forschungsberichts 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 drei Kraftstoffqualitäten jeweils ein gewichteter Kohlenstoffgehalt berechnet werden, aus dem wiederum ein massebezogener Emissionsfaktor abgeleitet wurde.

Eine Überprüfung und Aktualisierung der Faktoren erfolgte im Rahmen des Projektes: „Analyse von Ottokraftstoffen und Flugbenzin zur Validierung der Faktoren“ im Jahr 2020 durch PetroLab. Die Ergebnisse, die sich nur auf den fossilen Brennstoffanteil beziehen, ähneln denen der DGMK Studie. Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der Faktoren, aus den bisherigen Projekten:

Tabelle 480: Vergleich der CO_2-Emissionsfaktoren für den fossilen Kraftstoffanteil

	Einheit	Normal	Super	Super verbleit	Super Plus
Petrolab 2022	t CO_2/t	-	3,171	-	3,137
DGMK 2002	t CO_2/t	3,183	3,185	-	3,141
DGMK 1994	t CO_2/t	3,179	3,188	3,193	3,156
max. Differenz	%	0,129	-0,551		-0,618

Die Höhe des Emissionsfaktors hängt im Wesentlichen vom Anteil der Aromaten, Parafine, Ether und sonstiger Sauerstoffverbindungen ab, die unterschiedliche Kohlenstoffgehalte aufweisen.

Während der Untersuchungen der DGMK Studie waren im Ottokraftstoff noch keine Biokomponenten enthalten. Daher musste keine Unterscheidung der Kraftstoffkomponenten vorgenommen werden. In der Studie von PetroLab 2022 mussten dagegen biogene und fossile Kraftstoffkomponenten unterschieden werden, weil diese getrennt berichtet werden müssen.

Die Ableitung des innerhalb der Inventare verwendeten energiebezogenen Emissionsfaktors erfolgt über von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) jährlich veröffentlichte Heizwerte. (AGEB, 2021c)

Dieser aus den von den Herstellern in metrischen Tonnen und Terajoule gemeldeten Mengen abgeleitete implizite Heizwert ging von 2014 zu 2015 von 43.542 auf 42.281 kJ / kg zurück. Entsprechnd stieg der abgeleitete energiebezogene Emissionsfaktor von 73.091 auf 75.287 kg CO_2 / TJ – und liegt damit seitdem außerhalb der Bandbreite gemäß IPCC-Guidelines.

Mit Juhrich (2022) erfolgte zuletzt eine Überprüfung und Aktualisierung der landesspezifischen CO_2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. In diesem Zusammenhang wurde für das Jahr 2020 ein impliziter massebezogener Emissionsfaktor von 3,169 kg CO_2 / kg ermittelt, aus dem ein energiebezogener Emissionsfaktor von 74.952 kg CO_2 / TJ abgeleitet wurde. Mit Blick auf wiederkehrende Review-Anmerkungen hinsichtlich des im Vergleich mit IPCC defaults und internationalen Werten auffällig hohen landesspezifischen Wertes kommt der Bericht zu dem Schluss, dass der „*in den IPCC 2006 angegebene Default-Wert mit 69,3 t CO2/TJ ist zu niedrig*“ ist und seine Nutzung im „*Deutschen Inventar zu einer deutlichen Untererfassung führen*“ würde.

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.

15.7.4 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 wird aus Emissionshandelsdaten für die Chemische Industrie berechnet. Dabei wird jährlich die Summe aus den CO_2 Emissionen aus dem Einsatz sonstiger Gase im ETS gebildet. Brennstoffeinsatzmengen können aus den Emissionshandelsdaten nicht ermittelt werden, da ein Teil der Betreiber den Brennstoffeinsatz in Tonnen und ein anderer Teil in m^3 angibt. Heizwerte werden nur in Einzelfällen angegeben. In der Energiestatistik sind vergleichsweise niedrige Brennstoffeinsätze zu finden, deren jährliche Entwicklung nicht immer plausibel erscheint. Daher werden die Brennstoffmengen aus der Berichterstattung für Großfeuerungsanlagen (GFA) verwendet. Das sichert auch die Konsistenz zum Luftschadstoffinventar. Letztlich wird die aus dem ETS ermittelte CO_2 Menge, die aus der verbrennung sonstiger Gase entstanden ist, durch den Brennstoffeinsatz aus der GFA Berichterstattung geteilt, um einen CO_2 Emissionsfaktor zu berechnen. Die auf diese Weise ermittelten CO_2 Faktoren liegen in der gleichen Größenordnung wie Raffineriegas. Das erscheint plausibel, weil die sonstigen hergestellten Gase in der chemischen Industrie dem Raffineriegas sehr ähnlich sind. Daher geben viele Betreiber in der Energiestatistik diese Gase auch als Raffineriegas an.

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.

15.7.5 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, Nanning, Hillebrand, et al. (2006), 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.

15.7.6 Biomassebrennstoffe

Die Emissionsfaktoren für die Biomassebrennstoffe, die als **Ersatzbrennstoffe** in der Industrie eingesetzt werden, stammen ebenfalls aus dem Projekt: „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhmer, Nanning, Hillebrand, et al. (2006), 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.

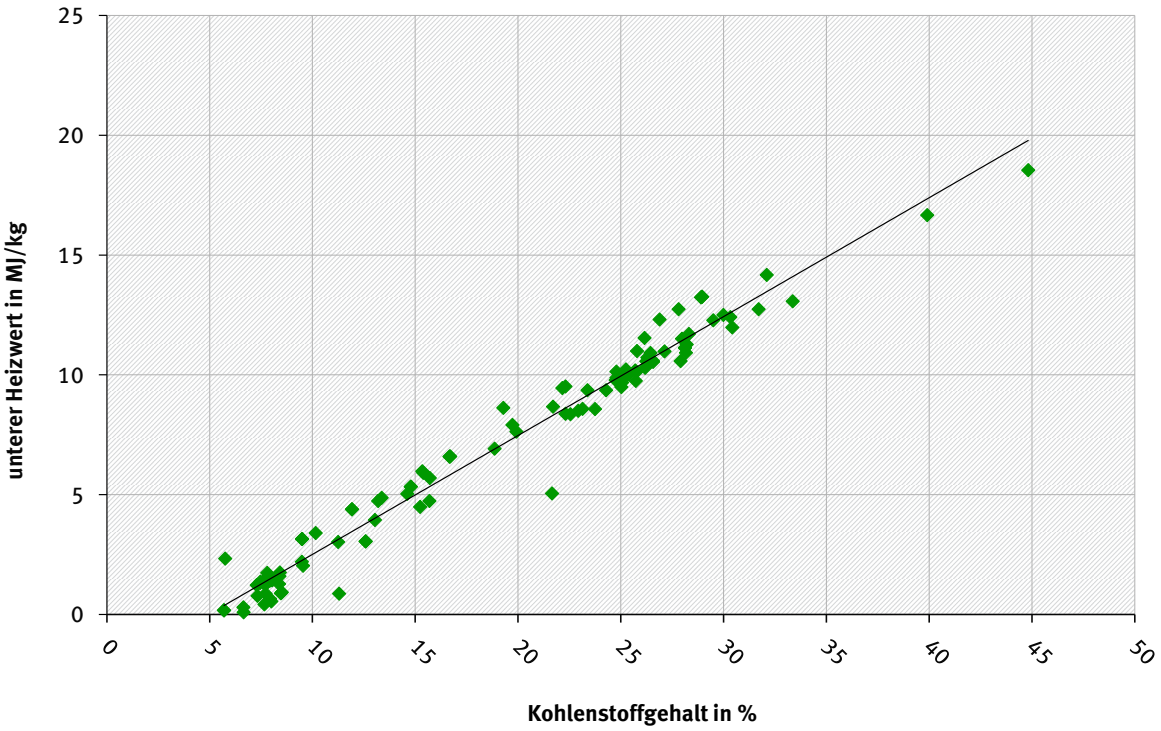
Zur Berechnung der CO_2 Emissionsfaktoren für **Biogas, Deponiegas** und **Klärgas** wurden zunächst Heizwerte aus der Energiestatistik ausgewertet. Aus den Heizwerten für die Jahre 2009 – 2011 wurden jeweils Mittelwerte berechnet. Aus diesem Heizwert wurde jeweils ein Methangehalt bestimmt. Da diese 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, 2006a) 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 100: 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.

15.7.7 Liste der abgeleiteten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für Energie & Industrieprozesse

In den folgenden Tabellen geben einen Überblick über die im Inventar verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren.

Tabelle 481: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO_2 ab 1990, Energie

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Kohlen																	
Steinkohle																	
Steinkohle roh (Kraftwerke, Industrie)	t CO2/TJ	93,1	93,1	93,5	93,9	94,0	94,2	93,7	93,4	93,6	93,5	93,6	93,4	93,1	93,7	93,6	93,9
Steinkohlenbriketts	**t CO2/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
Steinkohlenkoks (ohne Eisen & Stahl)	**t CO2/TJ**	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	107,8
Steinkohlenkoks Eisen & Stahl	t CO2/ t	3,29	3,26	3,23	3,19	3,18	3,17	3,17	3,20	3,19	3,17	3,17	3,18	3,18	3,18	3,19	3,17
Anthrazit (Wärmemarkt Haushalte, Kleinverbrauch)	t CO2/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
Balaststeinkohle *Alte Bundesländer*	t CO2/TJ	95,2															
Kokskohlen *Deutschland*	t CO2/ t	2,96	2,93	2,90	2,87	2,86	2,85	2,86	2,85	2,89	2,90	2,88	2,87	2,88	2,89	2,89	2,88
Steinkohlen Eisen & Stahl	t CO2/ t	2,92	2,92	2,92	2,95	2,89	2,89	2,91	2,96	2,97	2,90	2,88	2,94	2,90	2,93	2,94	2,92
Andere Steinkohlenprodukte	t CO2/ t	3,30	3,30	3,30	3,30	3,29	3,30	3,30	3,32	3,32	3,32	3,32	3,33	3,32	3,31	3,32	3,32
Steinkohlenteer	t CO2/ t	3,27	3,27	3,27	3,28	3,27	3,27	3,28	3,31	3,31	3,30	3,31	3,31	3,31	3,30	3,31	3,30
Benzol	t CO2/ t	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	3,36

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Braunkohle																	
Rohbraunkohlen																	
öffentliche Fernheizwerke *Deutschland*	t CO2/TJ		111,7	110,8	111,1	110,7	110,7	111,0	110,7	110,9	111,0	111,2	111,4	110,8	110,6	110,6	110,8
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	113,8															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	110,0															
Industrie, Kleinverbrauch *Deutschland*	t CO2/TJ		106,0	109,8	108,2	106,3	106,0	105,0	105,1	103,8	104,0	105,8	106,2	106,4	106,5	105,9	105,8
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	114,7															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	107,7															
öffentliche Kraftwerke Revier:																	
Rheinland	t CO2/TJ	114,8	113,9	113,1	113,2	113,3	113,3	113,2	113,0	113,1	113,1	113,0	113,0	112,7	112,9	113,3	113,1
Helmstedt	t CO2/TJ	98,7	98,7	98,7	98,7	96,7	101,7	97,9	103,3	101,1	99,5	97,9	NO	NO	NO	NO	NO
Hessen	t CO2/TJ	112,2	103,2	103,5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Lausitz	t CO2/TJ	111,2	111,3	111,5	111,2	110,6	109,9	111,0	110,3	111,2	110,9	111,3	111,5	110,6	109,9	110,2	111,0
Mitteldeutschland	t CO2/TJ	105,7	103,9	102,9	104,0	103,4	103,4	102,8	102,9	102,8	102,9	103,9	104,3	104,2	104,2	103,6	103,2
Braunkohlenbriketts *Deutschland*	**t CO2/TJ**		98,3	99,0	99,3	99,0	99,3	99,3	99,1	99,6	99,4	99,5	99,3	99,0	99,0	99,2	99,2
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	99,5															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	96,6															
Braunkohlenteer *Neue Bundesländer*	**t CO2/TJ**	82,9															
Braunkohlenteeröl *Neue Bundesländer*		78,6															
Braunkohlenstaub und -wirbelschichtkohle																	
Deutschland	**t CO2/TJ**		97,6	98,1	98,1	98,0	98,1	98,0	98,0	98,1	98,0	98,1	98,1	97,5	97,5	97,5	97,5
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	98,3															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	96,1															
Braunkohlenkoks *Deutschland*	**t CO2/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
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	109,6															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	100,2															
Torf *Alte Bundesländer, Deutschland*		101,8	101,8	101,8	101,8	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Hartbraunkohle	**t CO2/TJ**	96,4	96,4	96,5	NO	94,9	94,8	94,9	94,2	95,6	94,5	94,8	94,6	95,1	94,7	94,4	93,6

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Mineralöle																	
Erdöl roh 4)	**t CO2/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
Ottokraftstoff	**t CO2/t**	3,181	3,182	3,183	3,183	3,184	3,180	3,182	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,169	3,169
Rohbenzin *Deutschland 4)*	**t CO2/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
Alte Bundesländer 4)	*t CO2/TJ*	73,3															
Neue Bundesländer 4)	*t CO2/TJ*	73,3															
Kerosin 4)	**t CO2/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
Flugbenzin	**t CO2/TJ**	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2
Dieselkraftstoff *Deutschland*	**t CO2/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
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	74,0															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	74,0															
Heizöl leicht *Deutschland*	**t CO2/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
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	74,0															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	74,0															
Heizöl schwer	**t CO2/TJ**	79,8	79,8	79,8	79,6	79,7	79,9	80,1	80,0	81,3	80,9	81,6	80,8	79,9	79,4	79,7	79,5
Petroleum	**t CO2/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
Petrolkoks (ohne Katalysatorabbrand)	**t CO2/TJ**	94,8	94,8	94,8	94,8	94,6	95,4	94,7	95,1	95,7	97,6	103,8	104,3	104,0	104,3	103,4	101,8
Flüssiggas *Deutschland (energetischer Verbrauch)*	**t CO2/TJ**		65,3	64,4	65,3	65,3	65,4	65,4	65,4	65,5	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	65,6															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	65,6															
Raffineriegas *Deutschland*	**t CO2/TJ**		56,9	56,7	57,0	66,4	61,6	62,3	60,8	60,1	62,0	52,9	69,8	57,1	57,3	57,2	57,1
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	54,6															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	54,6															
Andere Mineralölprodukte *Deutschland*	**t CO2/TJ**		82,1	82,1	82,1	82,5	82,8	82,9	82,6	82,7	82,3	80,9	83,0	80,4	80,1	80,4	81,9
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	82,1															
Neue Bundesländer	*t CO2/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
Gase																	
Kokereigas *Deutschland*	**t CO2/TJ**		41,0	41,0	40,7	40,3	41,6	41,2	41,8	41,2	41,3	41,1	40,7	40,9	40,8	41,0	41,5
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	41,0															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	43,6															
Kokerei- und Stadtgas *Deutschland*	**t CO2/TJ**		42,6														
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	43,2															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	58,3															
Gicht- und Konvertergas *Deutschland*	**t CO2/TJ**		257,1	258,7	252,9	259,7	264,7	263,5	259,5	256,8	261,3	256,7	258,6	259,6	259,2	256,4	254,5
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	264,6															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	264,6															
Brenngas *Neue Bundesländer*	**t CO2/TJ**	118,4															
sonstige hergestellte Gase *Deutschland*	**t CO2/TJ**	63,6	63,6	63,6	63,6	63,6	63,6	63,6	65,3	66,2	63,5	58,2	59,3	63,6	68,9	60,8	65,2

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Naturgase																	
Erdgas *Deutschland*	**t CO2/TJ**		55,8	55,8	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,8	55,8	55,7	55,7	55,8	55,8
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	55,7															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	55,5															
Erdölgas	**t CO2/TJ**	61,9	61,9	61,9	61,9	61,4	61,5	61,5	63,2	62,0	61,6	61,9	62,5	63,6	62,2	61,0	61,1
Grubengas	**t CO2/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
Abfall 2)																	
Hausmüll, Siedlungsabfall	**t CO2/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
Industriemüll *Deutschland*	**t CO2/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
Alte Bundesländer	*t CO2/TJ*	73,9															
Neue Bundesländer	*t CO2/TJ*	74,9															
Sonderabfall Deutschland	**t CO2/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
Sonderbrennstoffe 1)																	
Altöl	t CO2/TJ	75,7	75,7	75,7	75,7	75,9	75,9	77,3	75,6	75,5	75,3	76,3	75,4	75,1	77,6	76,9	82,4
Altkunststoff	t CO2/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
Altreifen	t CO2/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
Bleicherde	t CO2/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
Klärschlamm (2 MJ/kg)	t CO2/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
Klärschlamm (4 MJ/kg)	t CO2/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
Klärschlamm (6 MJ/kg)	t CO2/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
Klärschlamm (8 MJ/kg)	t CO2/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
Klärschlamm (10 MJ/kg)	t CO2/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
Lösemittel (Abfall)	t CO2/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
Biomasse-Brennstoffe 3)																	
Ablaugen Zellstoffherstellung	t CO2/TJ	121,1	121,1	110,3	104,8	98,3	98,0	98,2	97,9	97,5	97,8	97,9	97,4	97,8	97,5	95,4	97,8
Faser-/Deinking-Rückstände	t CO2/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
Brennholz naturbelassen	t CO2/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
Holzabfälle, Resthölzer (Industrie)	t CO2/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
Holzabfälle, Resthölzer (Kleinverbraucher)	t CO2/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
Rinde	t CO2/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
Tiermehle und -fette	t CO2/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
Biogas	t CO2/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
Deponiegas	t CO2/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
Klärgas	t CO2/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
Bio-Ethanol	t CO2/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
Biodiesel 4)	t CO2/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

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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

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 482: 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	2021
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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	115,82	117,51
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	53,61
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	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	1387,44
2.B.5 Produktion von Calciumcarbid	C	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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.

16 Anhang 3: Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für einzelne Quell- und Senkenkategorien

16.1 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Energie (1)

16.1.1 Energiewirtschaft (1.A.1)

16.1.1.1 Methodische Aspekte der Ermittlung der Emissionsfaktoren (Kapitel 3.2.4.2)

Dieser Abschnitt im NIR 2022 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.

16.1.2 Verkehr (1.A.3)

16.1.2.1 Verkehr - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)

16.1.2.1.1 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 (2006a) 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[150] (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.

150 Persönliche Email-Kommunikation mit Dr. Feuerhelm, FAM Hamburg, 9.Juni 2009

Flugbenzin

Analog zum Kerosin werden sämtliche Emissionfaktoren dem Modell TREMOD AV entnommen (Knörr, 2022)

Tabelle 483: Emissionsfaktoren 2018 für Flugbenzin

	1.A.3.a		1.D.1.a	
	LTO	Reiseflug	LTO	Reiseflug
CO_2		71.199		
CH_4	165	0,00	137	0,00
N_2O		2,30		
SO_2		0,46		
NO_X	90,5	143	89,9	128
NMVOC	656	558	645	551
CO	17.396	20.957	17.472	22.916

Quelle: (Gores, 2021)

Tabelle 484: Übersicht der Emissionsfaktoren für Kerosin, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
CO_2	**73.256**															
SO_2	19,7	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
Kerosin, L/TO, national (1.A.3.a)																
CH_4	7,09	7,23	7,63	8,11	8,07	7,99	8,00	8,71	9,25	9,23	9,11	9,58	9,78	10,15	14,49	16,42
N_2O	2,81	2,79	2,79	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
NO_X	295	324	287	277	304	309	312	311	310	312	321	322	316	312	291	280
NMVOC	28,4	28,9	30,5	32,4	32,3	31,9	32,0	34,9	37,0	36,9	36,5	38,3	39,1	40,6	58,0	65,7
CO	212	211	275	291	260	254	252	260	265	265	252	255	262	268	349	383
Kerosin, Reiseflug, national (1.A.3.a)																
CH_4	0,00															
N_2O	2,34	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
NO_X	337	375	348	340	374	376	381	383	381	386	397	400	396	396	370	365
NMVOC	14,4	16,0	16,6	18,9	19,9	19,9	20,2	21,7	22,7	22,0	17,7	18,1	17,7	19,4	26,1	30,5
CO	147	149	186	203	197	197	201	212	219	214	154	151	152	159	241	294
Kerosin, L/TO, international (1.D.1.a)																
CH_4	14,94	9,03	6,42	5,72	5,31	5,19	5,12	5,08	4,97	5,12	5,06	5,19	5,36	4,85	4,79	4,60
N_2O	2,11	2,09	2,09	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
NO_X	297	306	303	324	342	345	346	349	353	352	357	358	355	358	368	367
NMVOC	59,7	36,1	25,7	22,9	21,2	20,8	20,5	20,3	19,9	20,5	20,2	20,8	21,4	19,4	19,2	18,4
CO	249	227	236	219	203	199	199	197	194	196	192	192	195	187	185	187
Kerosin, Reiseflug, international (1.D.1.a)																
CH_4	0,00															
N_2O	2,34	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
NO_X	313	317	329	338	352	354	360	362	362	366	370	372	373	376	379	378
NMVOC	13,3	8,96	5,98	5,27	4,66	4,53	4,39	4,39	4,71	4,35	4,17	4,23	4,32	4,26	4,29	4,09
CO	73,8	61,6	47,7	42,4	37,8	37,3	37,0	36,8	40,1	36,2	34,2	34,2	34,7	34,1	34,4	34,6

Quelle: (Gores, 2021)

[a] gemäß IPCC (2006a): Band 2, Kapitel 3.6, Tabelle 3.6.5: Methan-Emissionen während Reiseflug vernachlässigbar gering

16.1.2.2 Ableitung der Aktivitätsraten zum Straßenverkehr (1.A.3.b)

16.1.2.2.1 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 485 dargestellt.

Tabelle 485: Energieeinsätze im Straßenverkehr seit 1990

	Ottokraftstoff	Dieselkraftstoff	Biokraftstoffe [a]	CNG, LPG und	Petroleum	Schmierstoffe [b]
Energieeinsätze gemäß Energiebilanzen 1990-2021 (Stand: 10/2022) in TJ						
1990	1.330.479	735.920	0	138	0	2.543
1995	1.299.982	964.013	1.504	138	610	455
1996	1.299.879	964.580	2.046	115	638	372
1997	1.297.487	979.586	3.652	106	357	266
1998	1.300.463	1.022.794	4.081	106	637	206
1999	1.300.602	1.097.036	5.370	100	637	116
2000	1.237.055	1.108.105	12.276	94,0	414	82,7
2001	1.199.318	1.097.416	16.740	98,0	471	74,5
2002	1.166.381	1.105.842	20.460	607	472	77,3
2003	1.108.989	1.078.352	29.948	694	0	72,6
2004	1.072.720	1.110.931	40.042	1.887	0	75,0
2005	992.377	1.078.620	78.897	5.484	0	78,5
2006	930.834	1.082.042	143.881	9.051	0	77,4
2007	892.982	1.073.987	155.752	14.787	0	79,9
2008	854.002	1.102.624	126.181	22.796	0	81,3
2009	829.227	1.114.939	113.765	32.285	0	87,4
2010	791.416	1.168.063	120.129	30.591	0	82,6
2011	787.803	1.197.252	115.828	32.384	0	80,9
2012	742.000	1.223.719	120.513	32.437	0	76,5
2013	741.150	1.283.637	109.358	30.507	0	78,1
2014	744.661	1.296.828	113.957	28.983	0	78,1
2015	708.672	1.348.789	105.764	26.422	0	78,0
2016	709.179	1.393.481	106.054	22.710	0	78,1
2017	719.580	1.425.424	108.049	21.329	0	77,4
2018	692.694	1.377.104	112.594	21.543	0	75,9
2019	699.835	1.390.837	111.781	21.280	0	76,5
2020	629.435	1.239.658	134.891	17.974	0	80,4
2021	634.080	1.254.201	120.477	21.202	0	73,0

Quellen: Auswertetabellen der Energiebilanzen, Mineralöl-Zahlen des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV, 2020) und Amtliche Mineralöldaten (BAFA, 2022c).

[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 486).

Tabelle 486: 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 487: Korrekturfaktoren zur Anpassung an die Energiebilanz

	Ottokraftstoffe [a]	Dieselkraftstoffe [a]	
	Pkw, Leichte Nutzf., motor. Zweiräder	*Pkw, Leichte Nutzfahrzeuge*	*Schwere Nutzf., Busse*
1990	1,086	1,086	0,983
1995	1,046	1,046	0,931
2000	0,995	0,995	0,956
2005	0,938	0,938	0,784
2006	0,914	0,914	0,836
2007	0,899	0,899	0,800
2008	0,896	0,896	0,802
2009	0,885	0,885	0,845
2010	0,871	0,871	0,894
2011	0,879	0,879	0,875
2012	0,858	0,858	0,935
2013	0,879	0,879	0,943
2014	0,894	0,894	0,883
2015	0,890	0,890	0,898
2016	0,900	0,900	0,889
2017	0,912	0,912	0,877
2018	0,877	0,877	0,843
2019	0,873	0,873	0,869
2020	0,901	0,901	0,890
2021	0,921	0,921	0,848

[a] jeweils inklusive biogene Beimischungen
Quelle: (Knörr, Heidt, Gores, et al., 2021)

16.1.2.2.2 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.

16.1.2.2.3 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.

16.1.2.3 Ableitung der Emissionsfaktoren

16.1.2.3.1 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 486) 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.

16.1.2.3.2 Emissionsfaktoren für Biodiesel, Bio-Ethanol, Petroleum, Erd- und Flüssiggas

Die Emissionsfaktoren für Biodiesel und Petroleum werden durchweg denjenigen von konventionellem Diesel gleichgesetzt, die für Bioethanol verwendeten Werte dagegen denjenigen von konventionellem Ottokraftstoff.

Ausnahmen:

- Als EF(CO_2) von Biodiesel wird mit 70,8 t/TJ ein default gemäß IPCC (2006a): 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.

16.1.2.3.3 länderübergreifender Vergleich der (impliziten) Emissionsfaktoren

Die nachfolgenden Tabellen stellen die für das deutsche Emissionsinventar und für das Jahr 2021 abgeleiteten impliziten Emissionsfaktoren für Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen aus PKW (1.A.3.b i), leichten (1.A.3.b ii) und schweren Nutzfahrzeigen (1.A.3.b iii, inkl. Bussen) sowie motorisierten Zweirädern (1.A.3.b iv) mit den entsprechenden impliziten Emissionsfaktoren anderer Berichtsstaaten gemäß Submission 2022 gegenüber. Die internationalen Vergleichswerte wurden dabei dem GHG Locator (UNFCCC, 2022a) entnommen.

Tabelle 488: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus PKW, in kg/TJ

	Benzin		Diesel		CNG		LPG	
	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O
Deutschland	4,86	0,31	3,54	3,39	17,3	0,23	2,19	0,85
Belgien	6,11	0,44	0,05	2,52	20,9	0,35	7,35	0,90
Dänemark	4,04	0,63	0,06	2,77	12,9	0,37	10,3	2,66
Frankreich	11,9	0,98	0,25	3,36	30,1	0,72	11,7	0,90
Italien	9,88	0,91	0,10	2,74	20,2	0,47	8,69	0,73
Niederlande	8,93	0,73	0,35	2,21	92,0	3,00	2,33	0,84
Spanien	7,73	0,81	0,19	3,31	22,1	0,55	8,13	0,64
EU-27	7,35	0,72	0,91	3,16	21,4	0,51	9,37	1,40
Großbritannien	5,68	0,60	0,08	2,99	IE	IE	IE	IE

Tabelle 489: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus leichten Nutzfahrzeugen, in kg/TJ

	Benzin		Diesel		CNG		LPG	
	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O
Deutschland	9,88	0,71	1,74	2,58	7,04	0,17	NA	NA
Belgien	5,02	0,75	0,05	1,78	IE	IE	IE	IE
Dänemark	5,37	2,02	0,08	2,01	12,8	0,40	3,4	0,77
Frankreich	11,7	0,94	0,10	2,47	21,9	0,71	11,2	0,68
Italien	6,09	1,46	0,11	1,84	NO	NO	NO	NO
Niederlande	4,04	1,86	0,68	1,48	92,0	3,00	0,9	0,86
Spanien	18,8	1,74	0,24	2,11	NO	NO	NO	NO
EU-27	10,6	1,64	0,46	2,29	26,0	0,89	7,4	0,78
Großbritannien	3,92	0,97	0,05	2,29	IE	IE	IE	IE

Tabelle 490: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus schweren Nutzfahrzeugen, in kg/TJ

	Diesel		CNG	
	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O
Deutschland	0,09	4,17	17,7	NA
Belgien	0,69	4,04	50,1	NE
Dänemark	0,63	4,60	26,8	3,08
Frankreich	0,58	2,38	60,3	NO
Italien	1,94	3,23	56,4	NO
Niederlande	0,43	3,99	92,0	3,00
Spanien	1,59	3,46	49,6	NO
EU-27	1,18	3,47	57,8	1,24
Großbritannien	0,77	4,52	53,20	0,10

Tabelle 491: implizite Emissionsfaktoren für CH_4 und N_2O aus motorisierten Zweirädern, in kg/TJ

	Benzin	
	CH_4	N_2O
Deutschland	133	1,18
Belgien	41,3	1,25
Dänemark	71,5	1,22
Frankreich	24,0	1,16
Italien	61,0	1,35
Niederlande	99,3	1,10
Spanien	69,0	1,43
EU-27	72,1	1,29
Großbritannien	41,5	1,21

16.1.3 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:

$$r_{E\%} = r_{V\%} \times \frac{\rho_{Schmierstoff}}{\rho_{Kraftstoff}} \times \frac{\mathrm{H_i}_{\mathrm{Schmierstoff}}}{\mathrm{H_i}_{\mathrm{Kraftstoff}}}$$

$$r_{E\%} = 2\,\% \times \frac{0{,}875\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{l}}}{0{,}750\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{l}}} \times \frac{40{,}000\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}}{43{,}543\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}} = 2{,}1435\,\%$$

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 3.2.8.2 & 16.1.2.2). 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 3.2.10). 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, 2006a): 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 492: Ableitung der EF(CO_2) für Zweitaktgemische, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Benzin, fossil	73.069	73.075	73.094	73.103	73.119	75.287	75.285	75.285	75.285	75.284	74.952	74.950
Benzin, biogen (Bioethanol)						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	74.919	74.917
biogen						71.641						

Quelle: eigene Berechnungen

[a] Default-Emissionsfaktor gemäß IPCC (2006a): Band 2, Kapitel 2 - *Stationary Combustion*, Seite2.20, Tabelle 2.4

Tabelle 493: CO_2 aus in Zweitakt-Ottomotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1.A.3.b	186	33,3	6,06	5,75	6,05	5,72	5,72	5,67	5,57	5,61	5,90	5,35
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	1,09	1,05
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	4,19	4,33
Summe	**193**	**39,6**	**12,3**	**11,4**	**9,74**	**9,85**	**9,70**	**9,65**	**9,84**	**9,74**	**11,2**	**10,7**

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf (Knörr, Heidt, & Bergk, 2021; Knörr, Heidt, Gores, et al., 2021)

Rückrechnungen gegenüber Submission 2022

Zum einen erfolgte eine alle Jahre umfassende Neuberechnung der Kraftstoffverbräuche von Straßen-Zweitaktern. 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 494: revidierte Mengen mitverbrannter Schmierstoffen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	2.637	541	167	155	133	133	131	130	133	131	151
Submission 2022	2.585	529	161	151	130	130	128	128	130	129	139
Änderung absolut	52,1	12,5	6,31	4,24	2,68	2,96	2,85	2,39	2,51	2,40	12,0
Änderung relativ	2,01%	2,37%	3,92%	2,81%	2,06%	2,27%	2,22%	1,87%	1,93%	1,86%	8,65%

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 495: revidierte Kohlendioxid-Emissionen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Submission 2023	193	39,6	12,3	11,4	9,74	9,85	9,70	9,65	9,84	9,74	11,2
Submission 2022	189	38,7	11,8	11,0	9,54	9,63	9,49	9,47	9,66	9,56	10,3
Änderung absolut	3,81	0,92	0,46	0,31	0,20	0,22	0,21	0,18	0,19	0,18	0,88
Änderung relativ	2,01%	2,37%	3,92%	2,81%	2,06%	2,29%	2,24%	1,89%	1,95%	1,88%	8,51%

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)

16.1.4 Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen

Im Folgenden wird das Vorgehen zur Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen vorgestellt.

Methodische Aspekte

Grundlage der Berechnung sind die in den einzelnen Quellgruppen aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierenden CO_2-Emissionen…

Tabelle 496: CO_2 aus dem Einsatz von Biodiesel und Bioethanol, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
aus Bioethanol	0	0	83,1	496	2.224	2.240	2.244	2.208	2.267	2.196	2.096	2.200
aus Biodiesel	106	895	2.976	5.518	6.894	5.689	5.712	5.841	6.124	6.067	7.975	6.747
SUMME	**106**	**895**	**3.059**	**6.015**	**9.118**	**7.929**	**7.956**	**8.049**	**8.391**	**8.263**	**10.071**	**8.947**

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.[151]
- 90 % des Biobenzins werden aus Bioethanol erzeugt, 10 % aus ETBE.
- 66,67 % des im ETBE enthaltenen Kohlenstoffs sind fossilen Ursprungs.[152]

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 in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Mengen an fossilem Kohlendioxid, die den nationalen Gesamtemissionen zugerechnet werden.

Tabelle 497: CO_2 aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
aus Bioethanol	0,00	0,00	5,54	33,1	148	149	150	147	151	146	140	147
aus Biodiesel	5,86	49,3	164	304	379	313	314	321	337	334	439	371
SUMME	**5,86**	**49,3**	**169**	**337**	**527**	**462**	**464**	**468**	**488**	**480**	**578**	**518**

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.

[151] WG I - Note on fossil carbon content in biofuels; Calculating the fossil fuel content of biofuels that replace fossil diesel (biodiesel)

[152] WG I - Note on fossil carbon content in biofuels; Table 1 - Carbon content and fossil fraction of carbon content of biogasoline

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 2022 erfolgen Rückrechnungen aufgrund innerhalb der einzelnen CRF-Kategorien korrigierter Biokraftstoff-Einsatzmengen.

Tabelle 498: revidierte fossile CO_2-Emissionen aus Biokraftstoffen, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
fossiles CO_2 aus Bioethanol											
Submission 2023			5,54	33,1	148	149	150	147	151	146	140
Submission 2022			5,54	33,1	148	149	150	147	151	146	140
Änderung absolut			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Änderung relativ			0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
fossiles CO_2 aus Biodiesel											
Submission 2023	5,86	49,3	164	304	379	313	314	321	337	334	439
Submission 2022	5,86	49,3	164	304	379	312	312	321	337	334	439
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	1,05	1,78	0,00	0,00	0,00	-0,07
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,34%	0,57%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,02%
fossiles CO_2 aus Biokraftstoffen gesamt											
Submission 2023	5,86	49,3	169	337	527	462	464	468	488	480	578
Submission 2022	5,86	49,3	169	337	527	461	462	468	488	480	578
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	1,05	1,78	0,00	0,00	0,00	-0,06
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,23%	0,39%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,01%

Quelle: eigene Berechnungen

Geplante Verbesserungen

Aktuell sind keine über die alljährliche Revision der zugrundeliegenden Modelle 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 471 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 470 abgebildet.

16.2 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Industrieprozesse (2)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

16.3 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Landwirtschaft (3)

16.3.1 Schätzung der Emissionen zusätzlicher Tierkategorien

Die CRF-Tabellen unter IPCC (2006c 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 499 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 18.

Tabelle 499: 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

16.3.1.1 Tierplatzzahlen

In Deutschland gibt es für Gehegewild, Kaninchen, Strauße und Pelztiere keine offizielle Erhebung der Tierzahlen. Tabelle 500 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 500: 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)

16.3.1.2 CH_4-Emissionen aus der Verdauung

Für Strauße werden keine CH_4-Emissionen aus der Verdauung berechnet, da IPCC (2006a 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 (2006a Vol 4, 10.28, Table 10.10) verwendet (20 kg pl^{-1} a^{-1}).

Dagegen gibt IPCC (2006c Vol 4) keinen Emissionsfaktor für Kaninchen an. Laut Fußnote 1 zur Table 10.10 auf S. 10.28 in IPCC (2006c 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 (2006c 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 (2006c 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 501 zeigt die beispielhaft berechneten jährlichen Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren.

Tabelle 501: 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

16.3.1.3 CH_4-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Es werden die Default-Emissionsfaktoren aus IPCC (2006c Vol 4, 10.83, Table 10A-9) verwendet. Die resultierenden Emissionen sind Tabelle 502 zu entnehmen.

Tabelle 502: 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

16.3.1.4 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 16.3.1.4.1. Die resultierenden N_2O-Emissionen finden sich in Kapitel 16.3.1.4.2.

16.3.1.4.1 N-Ausscheidungen

Weder IPCC (2006c Vol 4) noch EMEP/EEA (2019b) 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 (2022b)), da davon ausgegangen wird, dass die Gehegewildhaltung in Dänemark und Deutschland vergleichbar ist.

Für Kaninchen gibt IPCC (2006c 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 66:

Gleichung 66: 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 66 eine N-Ausscheidung von 0,8 kg pl^{-1} a^{-1}.

Für Strauße geben weder IPCC (2006c Vol 4) noch EMEP/EEA (2019b) Defaultwerte für die N-Ausscheidung an. Für die deutschen Berechnungen wird auch hier der dänische Wert verwendet (UNFCCC, 2022b): 15,6 kg pl^{-1} a^{-1}.

Für Nerze gibt gibt IPCC (2006c Vol 4, 10.59, Table 10.19) eine Default-N-Ausscheidung von 4,59 kg pl^{-1} a^{-1} N an.

16.3.1.4.2 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 16.3.1.6.

Tabelle 503: 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

16.3.1.5 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 16.3.1.4.2). 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 NH_3-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 (2019b-3B-31) übernommen. Die schließlich verwendeten Daten sind in Tabelle 504 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 504: 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 (2019b-3B-31)
Strauße	70	0,57	0,16	Default für Gänse, EMEP/EEA (2019b-3B-31)
Pelztiere (Nerze)	60	0,27	0,09	Default, EMEP/EEA (2019b-3B-31)

Die resultierende Deposition von reaktivem Stickstoff (N_{reac}) sowie die daraus folgenden indirekten N_2O-Emissionen sind in Tabelle 505 wiedergegeben, wobei nach IPCC (2006c Vol 4, 11.24, Table 11.3)der Emissionsfaktor EF_4 = 0,01 kg N2O-N pro kg N_{reac} verwendet wurde.

Tabelle 505: 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

16.3.1.6 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 (2006c 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 (2019b-3B-31)- übernommen wird (50 %). Als Emissionsfaktor wird gemäß IPCC (2006c 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 506 zeigt die N-Menge, deren Multiplikation mit dem jeweiligen Emissionsfaktor und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 zur ebenfalls angegebenen Emission führt.

Tabelle 506: 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

16.3.1.7 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 508 zeigt die verwendeten Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH_3-Emissionen.

Tabelle 507: 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 (2019b-3B-31)
Kaninchen		0,90	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019b-3B-31)
Strauße		0,45	Default für Gänse, EMEP/EEA (2019b-3B-31)
Pelztiere (Nerze)		0,90	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019b-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 508 wiedergegeben, wobei nach IPCC (2006c Vol 4, 11.24, Table 11.3) der Emissionsfaktor EF_4 = 0,01 kg N_2O-N pro kg N_{reac} verwendet wurde.

Tabelle 508: 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 (2006c 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 (2006c Vol 4, 11.24, Table 11.3) multipliziert wird.

Tabelle 509: 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

16.3.2 Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Weidegangdaten (CRF 3.B, 3.D)

Tabelle 510 bis Tabelle 513 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 510 bis Tabelle 513 durchgeführt, sondern mit den dahinter stehenden Daten in Bundesland-Auflösung, siehe Kap. 2.5 in Rösemann et al. (2023). Die Tabellen umfassen auch Angaben zu Emissionsfaktoren (u. a. auch für NH_3).

Tabelle 510: 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	2021	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	6	6	5	4	4	3	3	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	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	7	7	7	6	6	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	66	67	69	70	72	74	75	77	78	78	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	2	2	2	3	3	4	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	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	7	7	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	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	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	8		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	48	42	37	32	26	21	16	11	5	5	5		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	33	39	45	50	56	62	68	73	79	79	79	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	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	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	5	6	6	7	8	9	9	10	11	11	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	8	8	7	6	6	5	5	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	9	9	8	8	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	45	45	46	47	48	49	50	51	51	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	25	24	22	21	19	18	18	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	7	9	10	12	14	16	17	19	19	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	17	17	17	16	16	16	16	15	15	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	7	7	6	6	5	4	4	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	7	7	7	6	6	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	49	50	50	51	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	30	29	27	25	24	22	21	19	19	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	2021	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	9	11	12	14	16	18	20	20	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	19	19	19	18	18	18	17	17	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	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	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	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	10	10	9	8	8	7	7	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	3	3	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	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	47	46	44	43	41	40	38	37	35	35	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	29	31	33	35	37	39	39	39	8.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	43	42	43	43	43	43	44	44	45	45	45	45	46	45	46	46	46	47	47	48	49	50	50	51	52	53	54	55	56	56	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	11	11	10	9	8	8	7	6	6	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	4	4	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	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	32	31	30	29	28	27	27	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	18	20	22	24	26	29	31	33	33	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	35	36	37	38	40	41	42	43	44	46	45	45		

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	2021	bedding material (straw) kg place d^{-1}	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta
fattening pigs	fully slatted floor, slurry	49	49	49	49	57	57	57	57	62	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	81	81		0.3
	partly slatted floor, slurry	40	40	40	40	34	34	34	34	31	31	30	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	21	20	19	19	18	17	16	16	15	15	15		0.3
	plane floor with bedding	8	8	8	8	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	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	1	1	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	1	1	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	0		
weaners	fully slatted floor, slurry	45	45	45	45	57	57	57	57	62	62	63	64	65	66	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	80	80		0.3
	partly slatted floor, slurry	41	41	41	41	33	33	33	33	28	28	28	27	27	26	26	25	24	24	23	23	22	21	21	20	19	18	18	17	16	16	16	16		0.3
	plane floor with bedding	10	10	10	10	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	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	1	1	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	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	0		
sows	straw based	42	42	42	42	26	26	26	26	24	24	23	22	21	20	19	18	17	17	16	15	14	13	12	12	11	10	10	9	8	8	8	8	0.5	0.34
	Slurry based	58	58	58	58	74	74	74	74	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	88	89	90	90	91	92	92	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	0		
boars	straw based	32	32	32	32	23	23	23	23	21	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	14	13	12	11	10	9	9	8	8	8	0.5	0.34
	slurry based	68	68	68	68	77	77	77	77	79	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	86	87	88	89	90	91	91	92	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	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	5		*)
	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	64	63	65	62	62	62	63	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	32	0.5 kg per place and year	*)
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3		
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	100	1.4 kg per place and year	0.09 kg per kg of total N excreted

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	2021	bedding material (straw) kg place d^{-1}	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta
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	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	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	100	5.6 kg per place and year	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	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	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	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	21		
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	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	56		
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	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	57	55	55	55	55	55	55	55	55	56	55	55	56		
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	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	34		

*) s. Tabelle 513: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH_3-Emissionsfaktoren

Tabelle 511: 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	2021	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	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	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	24	25	26	26	27	27	28	29	28	27	26	25	25	24	23	22	21	21	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	38	37	36	35	34	33	32	31	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	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	3	3	3	3	3	4	4	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	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.030		0.000		17.0	0.23
	storage below animal confinements > 1 month (% of total untreated slurry)	42	42	42	42	36	36	36	36	36	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	32	32	32	31	31	31	30	30	30	29	29	29	29	0.045		0.002		17.0	0.23
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	22	24	26	27	27	27	28	27	26	27	27						
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	2	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6	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	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	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	63	0.000		0.000		1.198	0.23
cattle, storage of	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	37	0.045		0.005		1.611	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	2021	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
digestates																																							
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	96	94	90	87	84	80	76	71	67	67	67	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	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	4	6	10	13	16	20	24	29	33	33	33	0.000		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	15	12	10	9	7	6	5	4	4	4	4	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	78	81	83	85	87	88	89	90	91	91	91	0.600	0,013	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	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0.000		0.010		17.0	0.23
female beef cattle, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	93	89	85	81	76	72	68	63	59	54	54	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	4	5	6	6	7	7	11	15	19	24	28	32	37	41	46	46	46	0.000		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	85	81	76	72	68	63	59	54	54	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	15	19	24	28	32	37	41	46	46	46	0.000		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	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	100	0.000		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	70	68	65	62	59	57	54	51	51	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	30	32	35	38	41	43	46	49	49	49	0.000		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	2021	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
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	72	69	66	63	59	56	53	50	50	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	28	31	34	37	41	44	47	50	50	50	0.000		0.010		17.0	0.23
pigs, untreated slurry	open tank (% of total untreated slurry)	47	47	47	47	27	27	27	27	27	27	25	23	22	20	19	17	15	14	12	10	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	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	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	15	17	18	19	21	22	24	25	26	28	27	26	25	24	23	22	21	20	20	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	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	9	9	10	10	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	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	34	34	34	34	35	35	36	36	36	37	37	38	38	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	16	16	18						
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	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	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	70	71	71	71	72	72	72	73	72	71	70	68	67	65	64	62	60	60	60	0.600	0.030	0.005	0.005	3.0	0.30
	deep bedding	25	25	25	25	30	30	30	30	31	31	31	30	30	30	29	29	29	28	28	28	27	28	29	30	32	33	35	36	38	40	40	40	0.000		0.010		25.0	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	2021	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
	(% of total solid manure)																																						
sows / boars, solid manure	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	100	0.600	0.030	0.005	0.005	3.0	0.30
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	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	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	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	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	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	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	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	14	14	15	14	14	14	14	15	15						
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	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	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	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	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	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	2021	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	1.04	1.48	2.13	2.53	3.29	8.86	12.37	16.88	19.70	25.28	31.81	39.68	43.49	52.62	55.06	57.20	56.88	55.94	55.14	55.13	56.29	56.29						
	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	66	66		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	34	34		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 512: 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	2021	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	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	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	5	4	3	3	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	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	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	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	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	0.50
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	6	8	9	11	12	14	16	17	17	17	16	16	15	13	10	8	6	0	0	0.50
	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	44	42	40	40	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	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	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	1	1	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	0.20
	trailing hose, incorporation < 8h	0	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

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	2021	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	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	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	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	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	4	4	4	5	10	10	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	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	3	3	3	3	4	4	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	3	4	4	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	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	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	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	6	9	12	15	19	19	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	3	3	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	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	0.04
cattle, solid manure	broadcast, without incorporation	14	14	14	14	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	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	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	0.09
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	9	9	9	9	9	9	10	11	12	14	15	16	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28	30	31	33	35	35	35	0.45
	broadcast, incorporation < 12h	11	11	11	11	28	28	28	28	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	26	26	26	23	21	18	15	15	15	0.81
	broadcast, incorporation < 24h	43	43	43	43	24	24	24	24	25	25	23	22	20	19	17	15	14	12	11	9	8	6	5	3	2	0	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	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	31	31	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	2	1	1	0	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	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	2	1	1	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	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	0.13
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	29	29	29	29	28	28	25	23	20	18	16	13	11	8	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
	broadcast, incorporation < 24h	49	49	49	49	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	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	0.25

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	2021	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	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	12	8	4	0	0	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	2	2	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	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	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	3	3	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	0.08
	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	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	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	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	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	38	38	43	43	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	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	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	4	5	5	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	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	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	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	12	16	19	19	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	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	5	5	5	6	6	6	7	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	19	17	15	13	11	9	7	6	4	2	3	3	4	5	5	5	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	4	4	4	4	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	18	18	18	18	0.09
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	29	31	33	35	36	36	37	37	37	37	0.45
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	19	16	13	9	9	9	0.81
	broadcast, incorporation < 24h	52	52	52	52	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	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	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	27	29	31	31	31	0.90
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	0.20

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	2021	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	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	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	8	6	5	4	4	4	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	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	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	12	10	9	8	0	0	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	48	47	46	46	46	46	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	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	2	3	3	4	4	4	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	2	2	2	2	2	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	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	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	10	11	11	12	20	20	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	4	4	5	6	6	6	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	1	1	1	1	1	1	1	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	1	1	1	1	0	0	0	0	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	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	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	5	6	7	8	8	8	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	1	2	2	2	2	2	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	2	3	3	3	3	3	0.01
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	25	27	29	29	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	16	17	18	20	21	23	24	25	27	28	28	28	0.00
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	12	15	18	21	24	26	29	32	35	38	41	44	47	45	43	41	38	38	38	0.18
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	11	11	11	11	21	21	20	20	19	18	18	17	16	16	15	14	14	13	12	12	11	10	9	7	6	4	4	4	0.40
	broadcast, incorporation < 24h	92	92	92	92	84	84	84	84	71	71	66	62	57	53	49	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	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	24	26	29	29	29	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	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	29	29	0.00

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	2021	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	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	43	41	39	39	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	6	5	3	3	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	0.45
other animals (horses, sheep, goats), solid manure	broadcast, without incorporation	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	92	88	84	80	76	72	68	64	60	56	52	48	44	40	36	37	38	39	40	40	40	0.90
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	13	13	13	0.09
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	7	9	10	12	14	16	17	19	21	22	24	26	28	29	29	30	31	31	31	0.45
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16	18	19	21	22	24	26	23	20	18	15	15	15	0.81
	broadcast, incorporation < 24h	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	0.90
Digested manure and digested energy crops	broadcast, 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	0.50
	broadcast, incorporation < 1 h	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7	7	7	6	5	5	5	5	0.10
	broadcast, incorporation < 4h	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	16	12	9	5	4	3	2	2	2	2	0.26
	broadcast, incorporation < 8h	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.40
	broadcast, incorporation < 12h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.43
	broadcast, vegetation	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	11	10	8	6	5	3	0	0	0.50
	broadcast, grassland	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10	9	8	8	7	6	6	6	0.60
	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	0.46
	trailing hose, incorporation < 1 h	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	7	9	9	8	8	8	8	8	0.04
	trailing hose, incorporation < 4h	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	13	10	8	5	4	4	4	3	3	3	0.15
	trailing hose, incorporation < 8h	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
	trailing hose, incorporation < 12h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30
	trailing hose, vegetation	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	19	19	0.35
	trailing hose, grassland	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	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	1	2	2	3	4	5	6	6	6	0.04
	trailing shoe, incorporation < 4 h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	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	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	0.30

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	2021	NH_3-N EF for application, kg NH_3-N per kg TAN applied
	trailing shoe, grassland	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6	9	11	14	17	20	20	20	0.36
	injection (open slot)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	7	8	8	9	9	9	9	9	0.24
	grubber and injection	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	13	14	14	15	15	16	16	16	0.04

Tabelle 513: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH_3-Emissionsfaktoren

[in kg NH_3-N per excreted kg N]	≤ 2000	2001 - 2009	≥2010	2011 - 2019	≥2020
cage housing; as of 2010: small-group housing	0.164	0.164	0.066	0.066	0.066
floor management, aviary	0.351	linear interpolation	0.090	linear interpolation	0.071
intensive outdoor management, free-range management, organic production	0.351	linear interpolation	0.090	linear interpolation	0.071

16.4 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quell-/Senkenkategorie Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (4)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

16.5 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Abfall und Abwasser (6)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

17 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.

17.1 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 2021 ergibt sich daraus ein nicht-energetischer Verbrauch von etwa 989 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 2021 ergibt sich für den Referenzansatz ein um

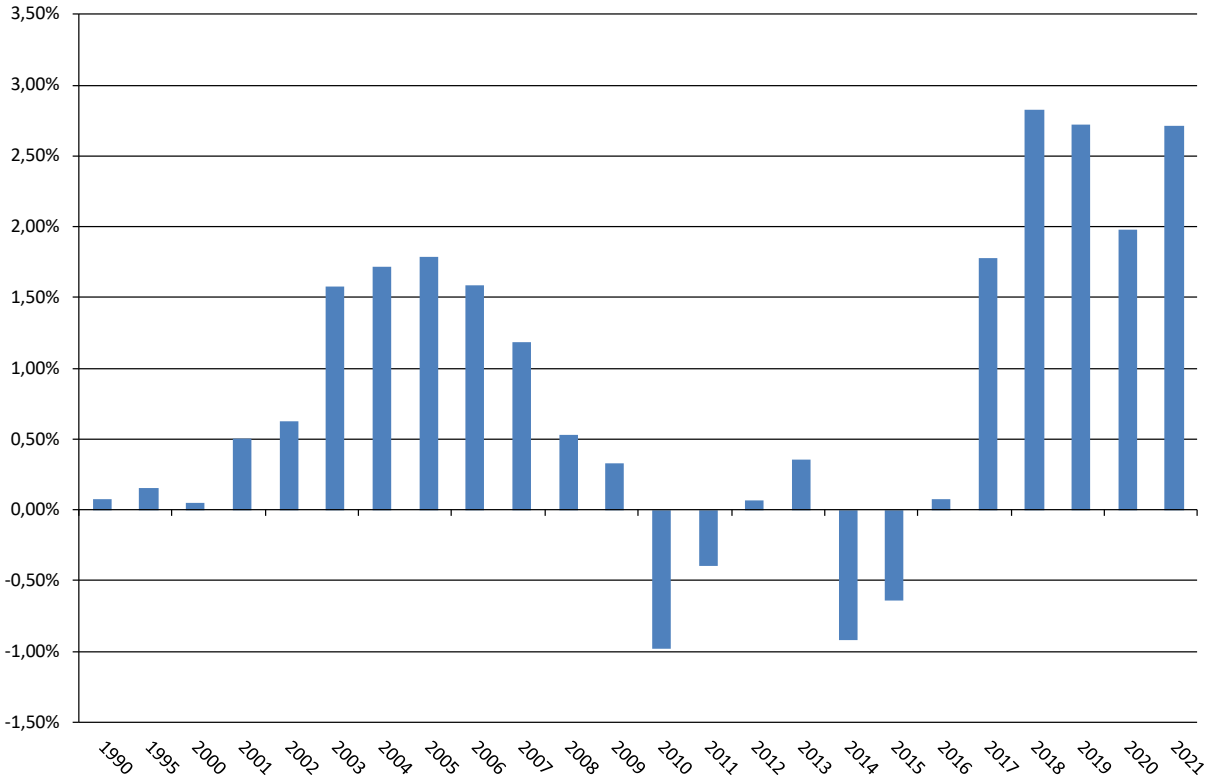
2,71 % höherer energetischer Brennstoffeinsatz bei um 0,52 % höheren Referenz-Emissionen (siehe Kapitel 3.2.1.1).

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 514: 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	**11.751**	**12.915**	**11.759**	**9**	**0,07%**
1995	10.980	12.115	10.997	17	0,15%
2000	10.586	11.838	10.591	5	0,05%
2001	10.856	12.094	10.910	54	0,50%
2002	10.641	11.892	10.708	67	0,63%
2003	10.633	11.997	10.801	168	1,58%
2004	10.440	11.822	10.619	179	1,72%
2005	10.228	11.683	10.410	182	1,78%
2006	10.372	11.767	10.536	164	1,58%
2007	9.950	11.232	10.068	118	1,19%
2008	10.102	11.292	10.155	53	0,53%
2009	9.445	10.522	9.476	31	0,33%
2010	9.896	10.955	9.799	-97	-0,98%
2011	9.507	10.611	9.470	-38	-0,40%
2012	9.567	10.661	9.573	6	0,07%
2013	9.855	10.976	9.889	35	0,35%
2014	**9.295**	**10.326**	**9.209**	**-86**	**-0,92%**
2015	9.371	10.396	9.311	-60	-0,64%
2016	9.554	10.664	9.561	7	0,07%
2017	9.323	10.645	9.489	166	1,78%
2018	**9.013**	**10.227**	**9.268**	**255**	**2,83%**
2019	8.607	9.756	8.841	234	2,72%
2020	8.003	9.060	8.161	158	1,98%
2021	**8.275**	**9.489**	**8.500**	**225**	**2,71%**

Abbildung 101: prozentuale Abweichungen der im Referenzverfahren erfassten jährlichen Gesamt-Aktivitätsraten von den Gesamtmengen gemäß sektoralem Ansatz



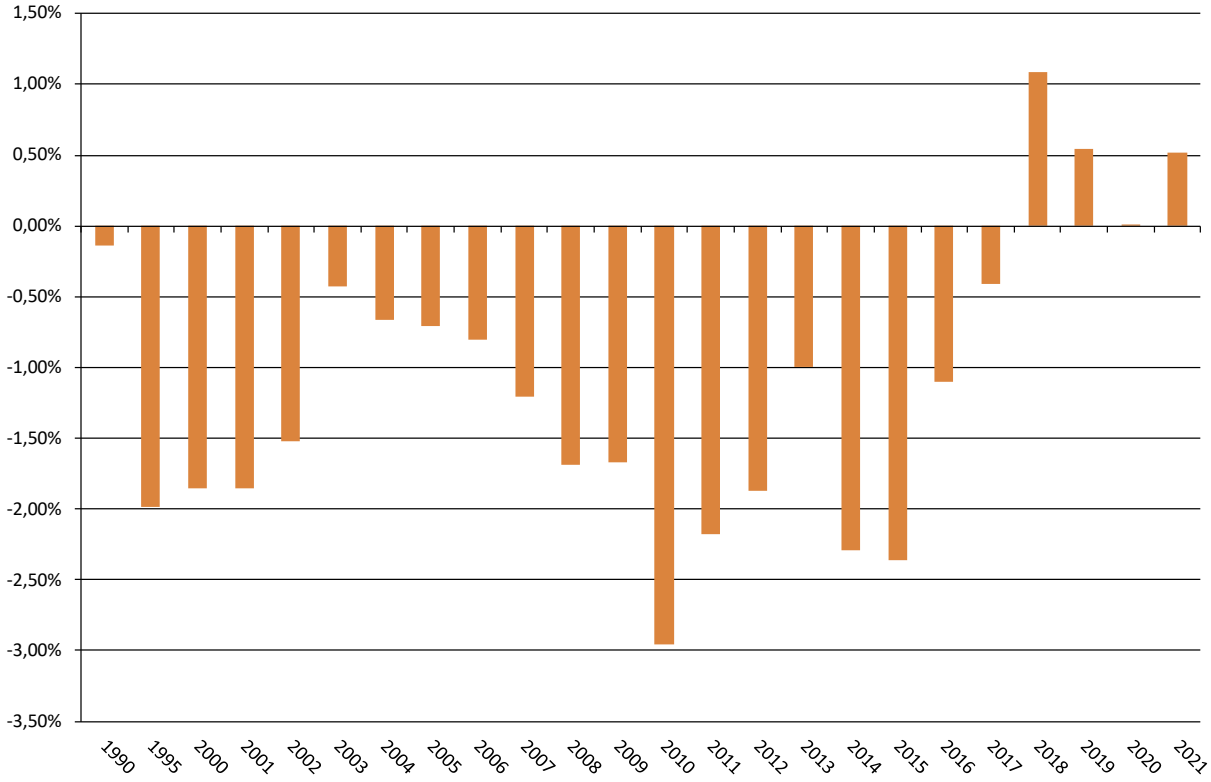
Hinsichtlich der im Referenzansatz berechneten Kohlendioxid-Emissionen ergibt sich ein umgekehrtes Bild: Diese fallen fast durchweg geringer aus, als mit dem sektoralen Ansatz berechnet. Die einzigen Ausnahmen stellen hier die Jahre Jahr 2019 bis 2021 dar. (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Tabelle 515: 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	**988.066**	**986.673**	**-1.393**	**-0,14%**
1995	878.962	861.544	-17.419	-1,98%
2000	835.832	820.372	-15.460	-1,85%
2001	858.116	842.240	-15.877	-1,85%
2002	843.725	830.886	-12.839	-1,52%
2003	840.331	836.728	-3.603	-0,43%
2004	826.119	820.616	-5.503	-0,67%
2005	807.930	802.219	-5.711	-0,71%
2006	819.448	812.846	-6.602	-0,81%
2007	793.645	784.069	-9.576	-1,21%
2008	798.607	785.129	-13.478	-1,69%
2009	742.652	730.232	-12.420	-1,67%
2010	**780.112**	**757.035**	**-23.077**	**-2,96%**
2011	756.371	739.874	-16.497	-2,18%
2012	762.265	747.969	-14.296	-1,88%
2013	783.343	775.523	-7.820	-1,00%
2014	744.334	727.301	-17.033	-2,29%
2015	749.201	731.532	-17.669	-2,36%
2016	751.142	742.863	-8.279	-1,10%
2017	731.653	728.654	-2.999	-0,41%
2018	702.782	710.391	7.609	1,08%
2019	**657.793**	**661.385**	**3.592**	**0,55%**

	1.AA	1.AB (exkl. NEV)	1.AB (exkl. NEV) minus 1.AA	
2020	600.779	600.811	32	0,01%
2021	**629.640**	**632.884**	**3.244**	**0,52%**

Abbildung 102: prozentuale Abweichungen der mit dem Referenzverfahren berechneten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen von den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes



18 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 516: Vollständigkeit - Übersicht der Quellen und Senken, deren Emissionen nicht geschätzt (not estimated, NE) werden

Emissions 2020			
kt CO_2 equiv	**national total (without LULUCF)**	**749.254**	
kt CO_2 equiv	thereof 0,1 %	749	
kt CO_2 equiv	thereof 0,05 %	375	
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	< 15,9	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	148	see NIR Chapter 16.3.1
3.A.4	Rabbits	4,44	see NIR Chapter 16.3.1
3.A.4	Fur-bearing animals	0,18	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(a).4	Deer	1,63	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(a).4	Fur-bearing animals	1,21	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(a).4	Rabbits	0,99	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(a).4	Ostrich	1,21	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(b).4	Fur-bearing animals	0,60	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(b).4	Rabbits	0,73	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(b).4	Ostrich	0,05	see NIR Chapter 16.3.1
3.B(b).5	Indirect emissions	0,90	see NIR Chapter 16.3.1
3.D	Other animals	35,88	The entries for other animals are not shown in CRF Reporter under 3 D., see NIR Chapter 16.3.1
5.A	Flaring	0,67	see NIR Chapter 7.2.1.2.9
5.E.	accidental fires (buildings, cars ...)	< 100	see NIR Chapter 7.6
Sum		**716**	

Tabelle 517: 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.

19 Anhang 6: Zusatzinformationen als Bestandteil des NIR oder andere hilfreiche Referenzinformationen

19.1 Zusatzinformationen zur Inventarerstellung und zum Nationalen System

19.1.1 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 Klimawandel (BMWK); 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[153] „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.*

[153] 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.

19.1.2 Zusatzinformationen zum Qualitätssystem Emission

19.1.2.1 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.

19.1.2.1.1 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.

19.1.2.1.2 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.

19.1.2.1.3 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).

19.1.2.1.4 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
- 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.

19.1.2.1.5 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.

19.1.2.1.6 Kategoriespezifische 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.

19.1.2.1.7 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.

19.1.2.1.8 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.

19.1.2.1.9 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.

19.1.2.1.10 Anlage 1: Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung im Umweltbundesamt

19.1.2.1.10.1 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.

19.1.2.1.10.2 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 19.1.2.1.10.3). Im Ergebnis wurde das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE) entwickelt, dass die in Kapitel 19.1.2.1.2 benannten Punkte implementiert hat.

19.1.2.1.10.2.1 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.

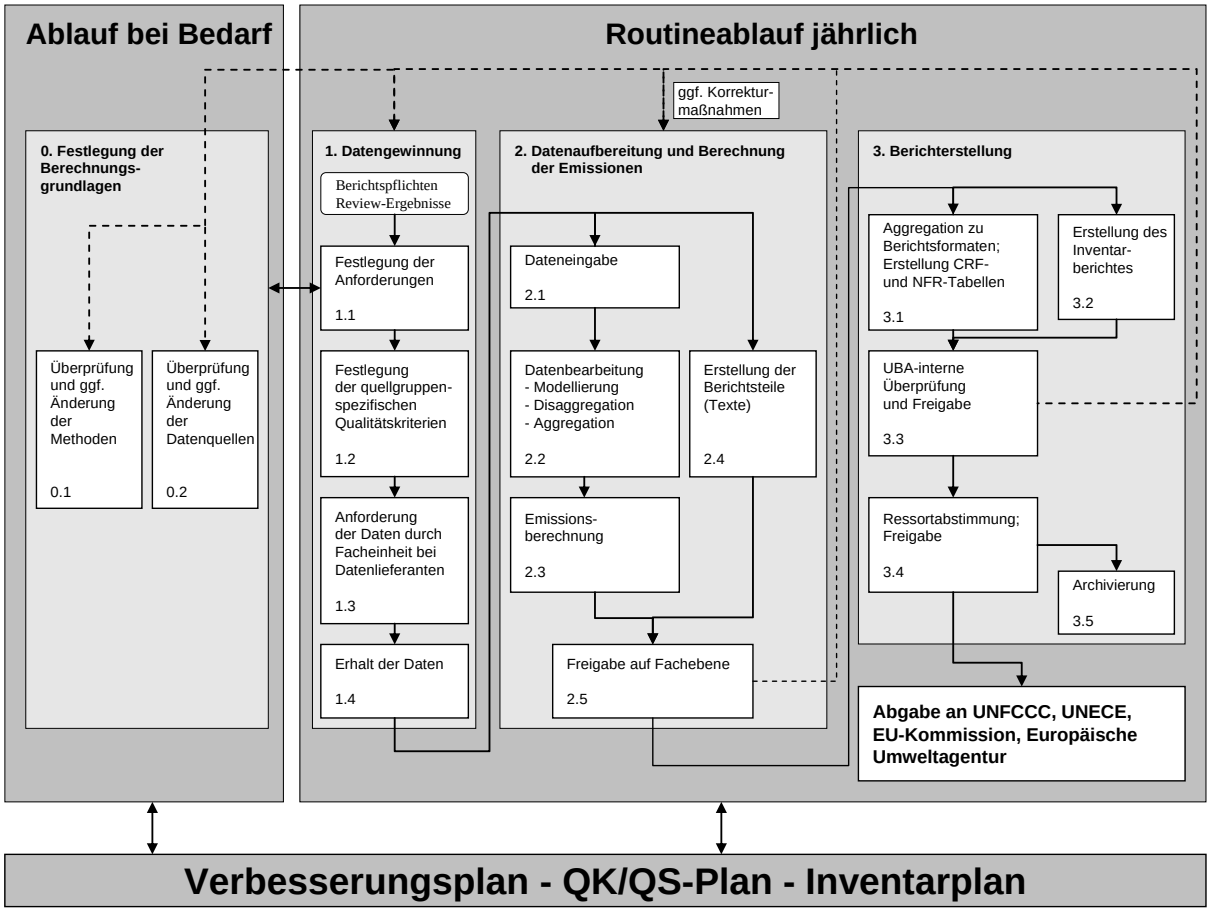
19.1.2.1.10.2.2 Verfahren zur Berichterstattung

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 103) Weiterführende Informationen finden sich im QSE-Handbuch Kapitel 4.3.

Abbildung 103: 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 19.1.2.1.2) 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: Kategoriespezifische 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.

19.1.2.1.10.3 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 104) 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)

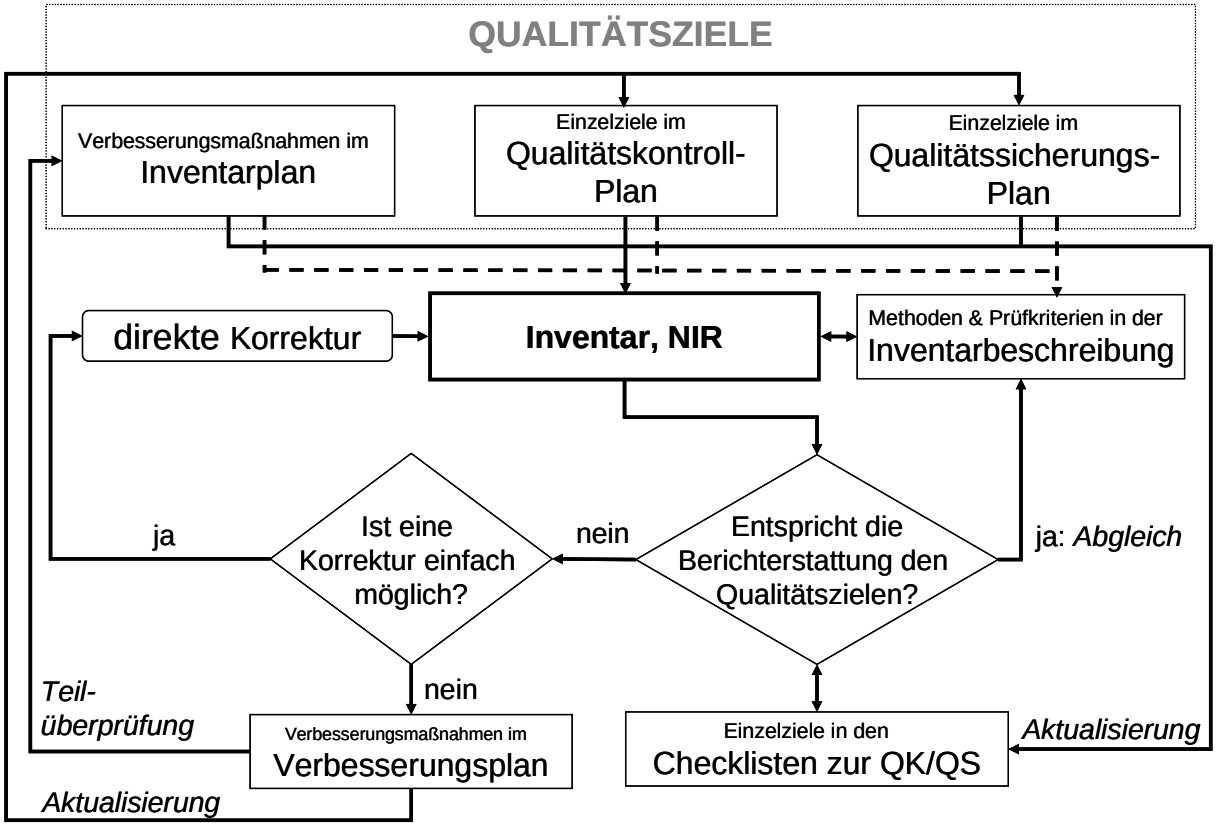
WAS: Gibt den Bezug zum Objekt, das verbessert soll, z.B. Verbesserung der CO_2-Berechnung in Kategorie xy

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 104: 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.

19.1.2.1.10.4 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 19.1.2.1.10.2.2), 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.

19.1.2.1.10.5 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.

19.1.2.1.10.6 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 518 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 518: 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).

19.1.2.1.11 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 519: 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.

19.1.3 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.

19.1.4 Verification of the German Greenhouse Gas Inventory

19.1.4.1 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

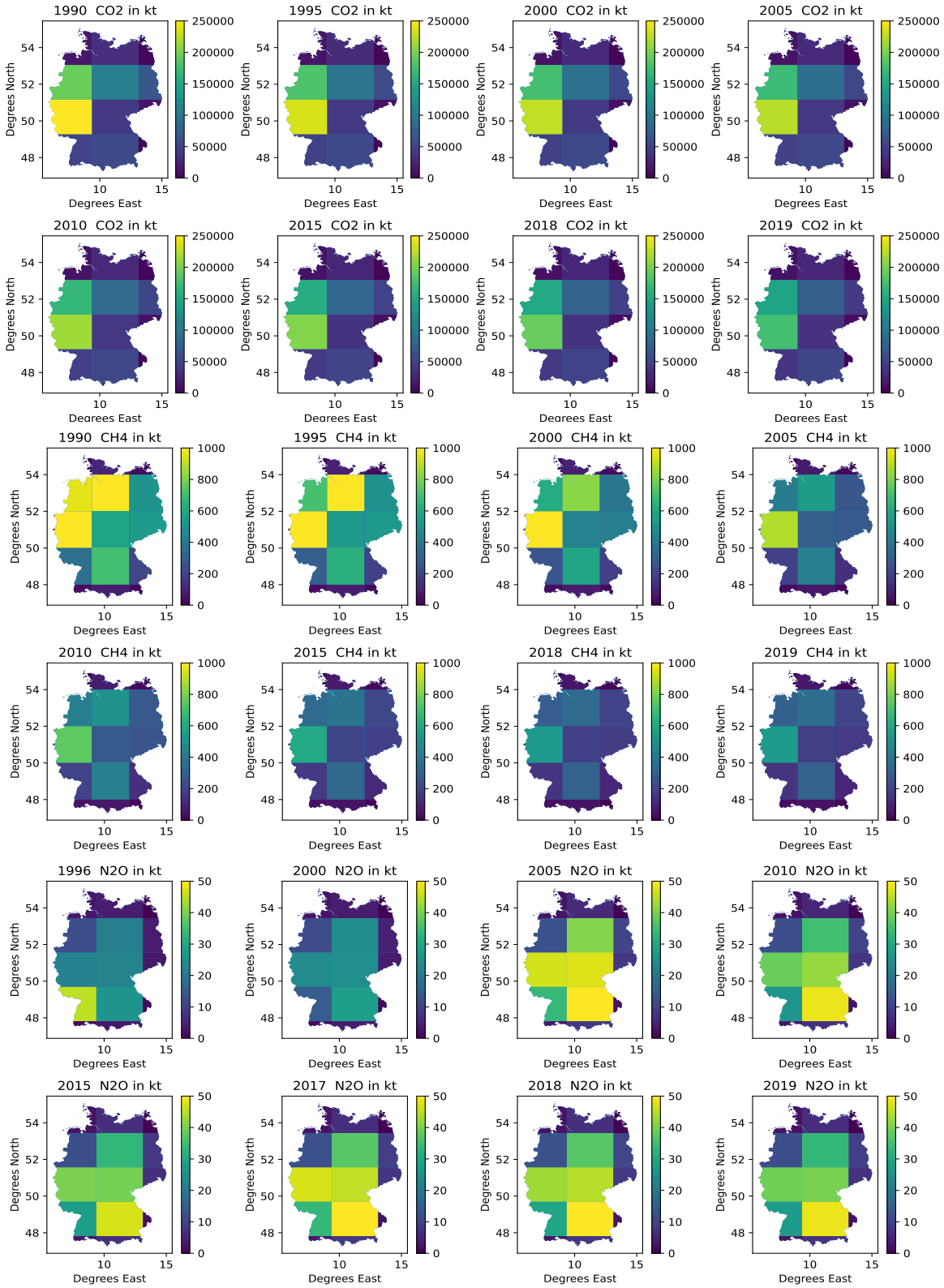
similarity operators such as the Pearson and Spearman-Rank correlations, which are widely used to compute similarity between two mathematical vectors.

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).

19.1.4.2 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 105: Time Slice Emission data for Germany from the CAMS data store



19.1.4.2.1 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.

19.1.4.2.2 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 105 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.

19.1.4.2.3 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 106 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.

19.1.4.2.4 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).

19.1.4.3 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 105 and Abbildung 106 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 107. These two mathematical similarity measures were computed, in order to quantify the similarity between the temporal trends visible in Abbildung 107, for trend verification purposes. The results are shown in Tabelle 520.

19.1.4.3.1 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 107 shows the EDGAR data in orange, whilst the national inventory data is plotted as thick blue line.

19.1.4.3.2 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 107.

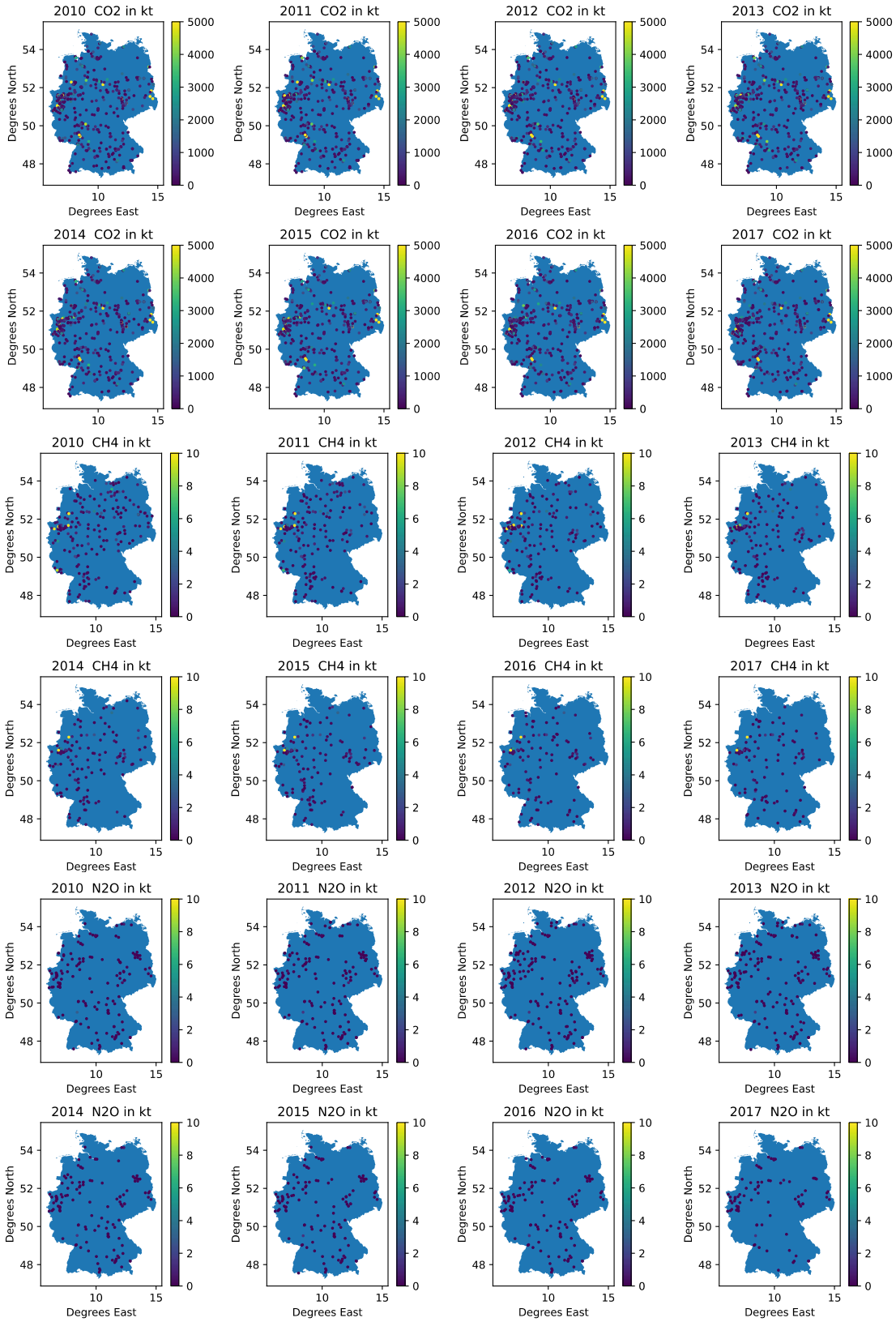
19.1.4.3.3 The Pollution Release and Transfer Register

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 106 for visualisation. The yearly sums, plotted as red line in Abbildung 107, were directly extracted from the database file.

19.1.4.3.4 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 107. 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 520.

Abbildung 106: Time Slice Emission data for Germany from the EPRTR Database



19.1.4.4 Results and Discussion

The trend data in Abbildung 107 shows very different patterns for each of the three GHG, which is also visible in Tabelle 520. 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 520: 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

19.1.4.4.1 The EDGAR Inventory

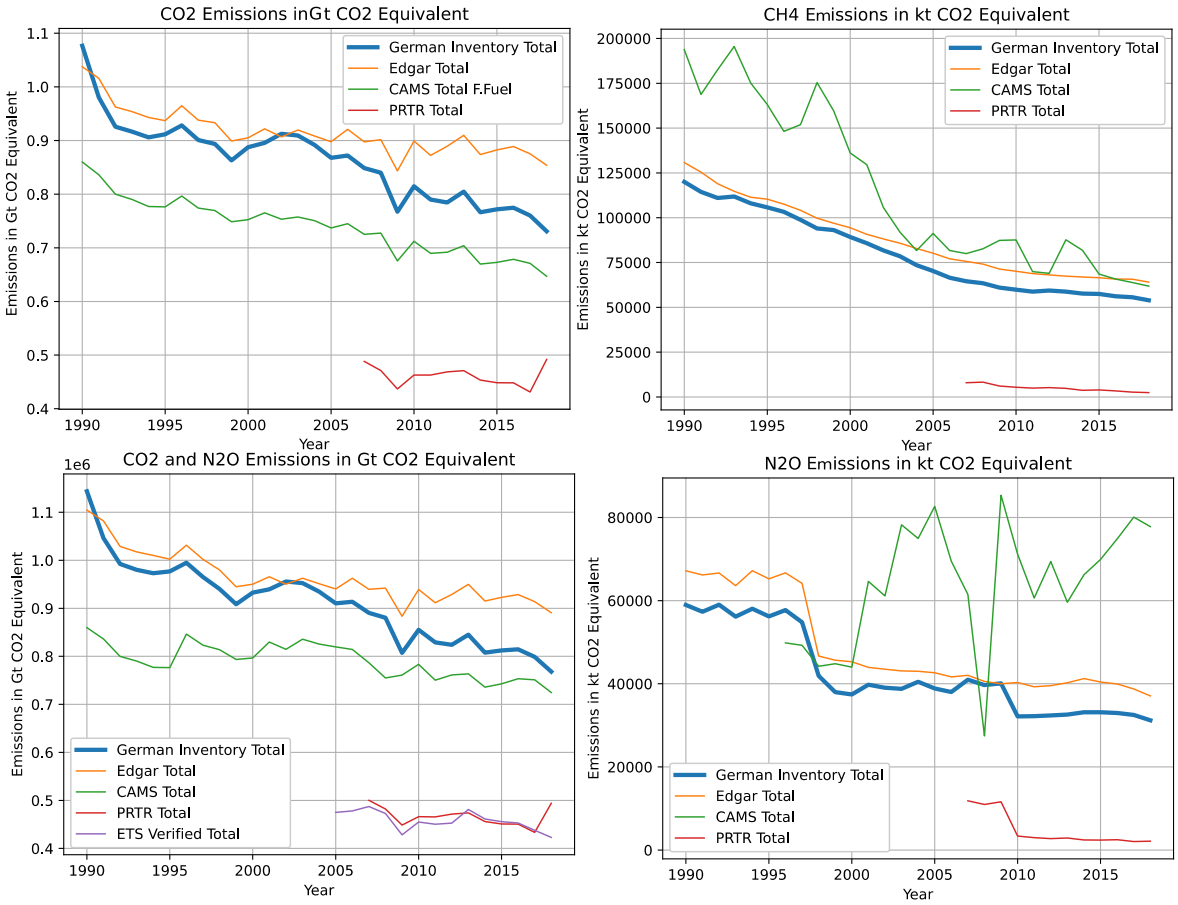
The EDGAR inventory usually is in good agreement with the national inventory data with high correlation values to the national inventory totals, as shown in Tabelle 520 and as visible by the orange line, which is always in close agreement with the reported national totals (thick blue line) in Abbildung 107. 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.

19.1.4.4.2 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 107 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 107, 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 107, shows a good agreement of the trend to the inventory data, as also visible by the high correlation scores in Tabelle 520. The green curve in Abbildung 107 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 520. Remarkable is the large dip around 2008, which shows a strong contrast in the data if compared to the bottom-up inventories.

Abbildung 107: Trend plots for CO_2 CH_4 and N_2O emission totals over the years 1990-2018



19.1.4.4.3 The Pollution Release and Transfer Register

The PRTR data matches the trends of the reported national GHG gases quite well, as highlighted in Tabelle 520. 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.

19.1.4.4.4 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 520. 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.

19.1.5 Past and Present Verification Activities of Greenhouse Gas Emissions in National and International Projects

In the following text, all emission data in CO2 equivalents are still calculated with the greenhouse gas potentials (GWP) of the Fourth IPCC Assessment Report (IPCC AR4).

19.1.5.1 Introduction

Multidisciplinary scientific projects are usually set up as temporal research initiatives with clearly set goals and tasks for the participating members. They develop tools and data within a project frame of 3 to 4 years and are discontinued after their completion. This places certain constraints on the development and usage of the developed data and tools for inventory agencies:

1. It is necessary to have a fixed set of coordinating personnel within the inventory agencies to use the results and tools for emission reporting.
2. Inventory staff needs to be actively involved in the design and development of these tools and sets of data.
3. The inventory team members should act as a scientific relay between the emission inventory world and e.g. the modeling community and the atmospheric science community in order to express their specific verification needs to improve the emission inventory or identify problematic source categories.

This can be done at the country and specific level with source specific bottom-up data research projects, which yield emission factors and activity data for very specific single sources. The bigger picture (sector wide goals, LULUCF/AFOLU or modeling of national totals for stakeholders), however, require the involvement of larger expert groups from various fields of academic research. This was established for the first time in for GHG research in Europe with the VERIFY project (https://verify.lsce.ipsl.fr/). The aim of the verify project was to assemble European inventory agencies such as RVIM (Netherlands), ISPRA and CMCC (Italy), UBA (Germany) and CITEPA (France) to collaborate with academic partners in order to establish a "common language" between inventory agencies and a large consortium of climate research specialists in order to answer to the 2019 IPCC refinements[154] on QA/QC and verification, which suggest just such a collaboration.

The nature of the project offers only a temporal limited set of data in the form of the report data below, which has been part of the VERIFY project, which has ended. All plots presented below are available from the following VERIFY resource page as fact sheets: http://webportals.ipsl.jussieu.fr/VERIFY/FactSheets/. Detailed reports on the methodology used in the production of the data may be found here: https://verify.lsce.ipsl.fr/index.php/repository/key-reports-verify.

19.1.5.2 Fossil Fuel CO_2 data

The fossil fuel CO_2 comparison data from the VERIFY project has been published by Petrescu et al.[155] figure V1 shows the UNFCCC fossil fuel data, labeled as CRF encompassing different sectors, compared to other sets of data. An in-depth description of the other individual sets of data may be found in Petrescu et al.[155], or in Minx et al.[156], which deliver an in-depth analysis of the features of different sets of data. Abbildung 108 shows that the reported greenhouse gas data is well in the envelope of the other independent bottom-up set of data, which shows that the trend as well as the overall magnitude of the reported emissions totals in Germany are in agreement with these external sets of data. An interesting aspect of these bottom-up inventories is their

[154] Romano, D. et al. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC General Guidance and Reporting. https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/ (2019).

[155] Petrescu, A. M. R. et al. The consolidated European synthesis of CO_2 emissions and removals for the European Union and United Kingdom: 1990–2018. Earth Syst. Sci. Data 13, 2363–2406 (2021).

[156] Minx, J. C. et al. A comprehensive and synthetic dataset for global, regional, and national greenhouse gas emissions by sector 1970–2018 with an extension to 2019. Earth Syst. Sci. Data 13, 5213–5252 (2021).

direct link to the economy, where it is possible to see e.g. the economic crisis in 2008-2009 as well as the Eurozone crisis around 2012. The steep decline in 2020 is also remarkable.

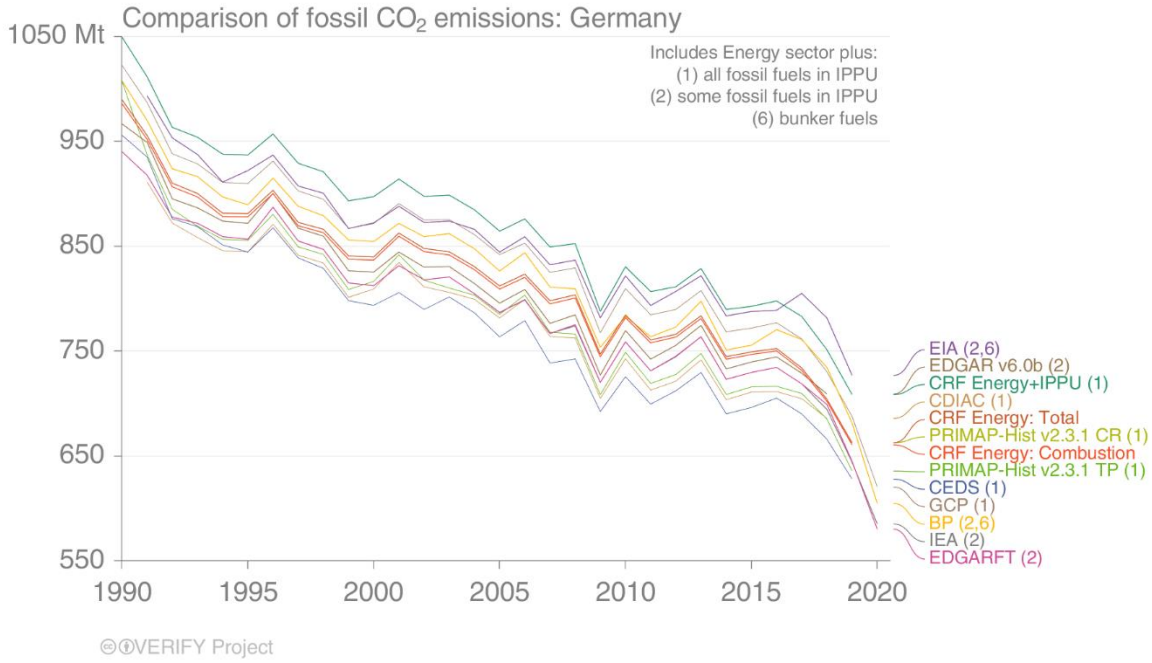


Abbildung 108: Fossil CO_2 emissions for Germany from bottom-up inventories, CRF depicts the reported emissions to the UNFCCC. The trend as well as the order of magnitude are in good agreement between the different sets of data.

Abbildung 109 from Petrescu et al.[155] shows the mean of the CO_2 data in the three decades (1990-1999, 2000-2009, 2010-2019) across individual sectors as well as the corresponding trend in each sector. Here we see that the energy related sectors contributed to a large extent to the reduction across the decades, whilst e.g. the transport sector decreased in CO_2 emissions by only a small portion. The large drop in the manufacturing industries may have been caused by closure of large manufacturing plants in the 1990s due to a restructuring of the industry, which took part in Germany at that time. The growth in the 2000s in emissions in that sector shows the economic upsurge in this specific sector.

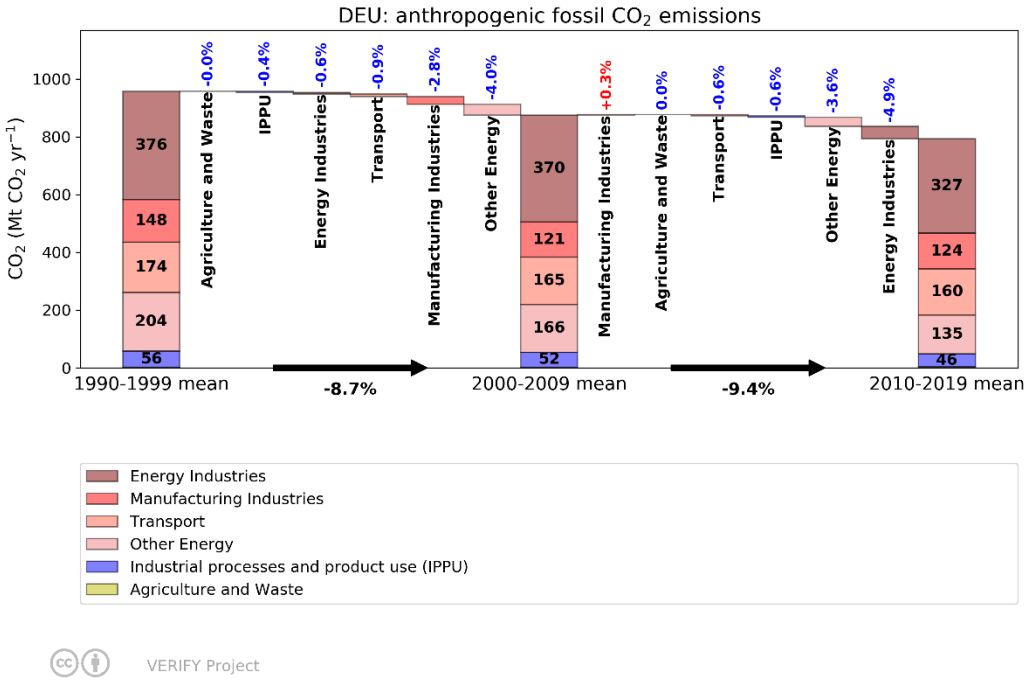
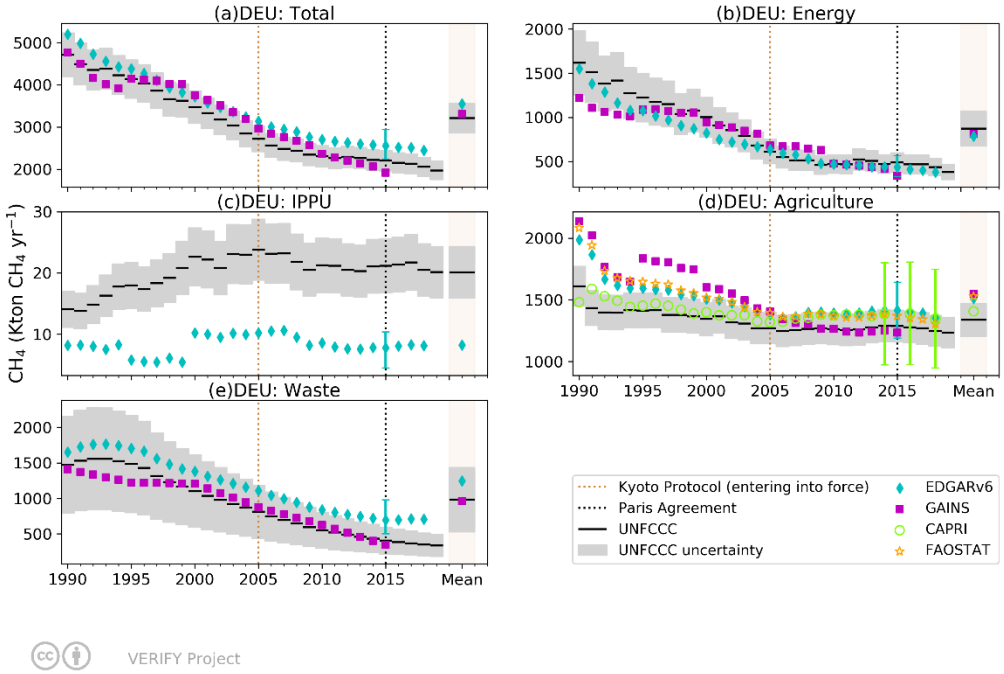


Abbildung 109: Fossil CO_2 emissions for Germany as mean over the three respective decades. Energy related emissions in Germany have dropped quite significantly between the decades, whilst transport related emissions decreased slower.

19.1.5.3 Methane

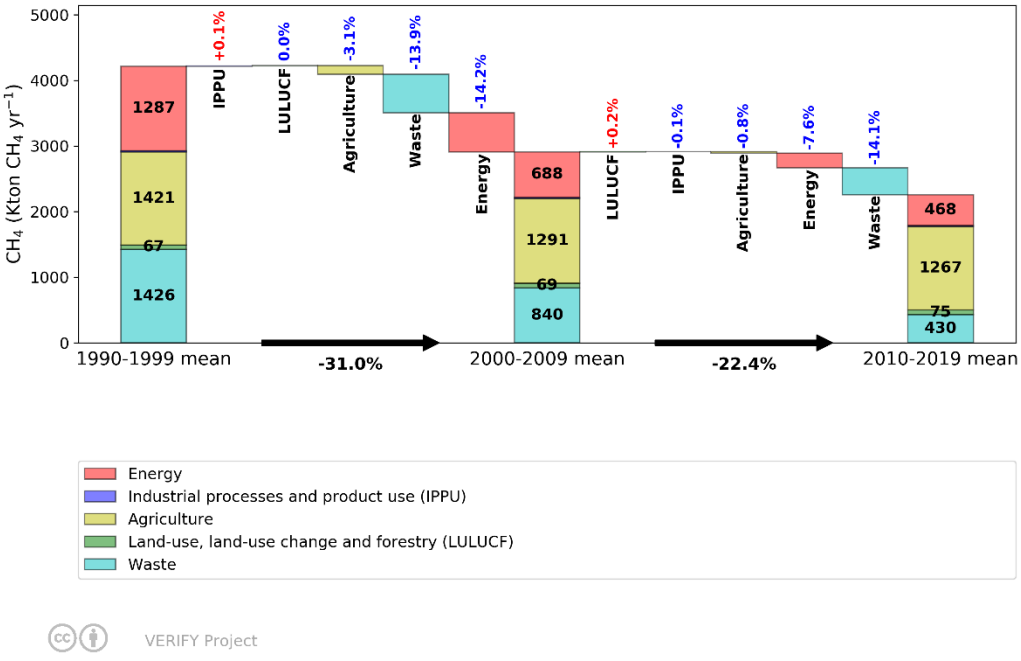
The data presented here is part of VERIFYs methane data which has also been published by Petrescu et al.[157] Abbildung 110 shows anthropogenic methane in different sectors, compared to different bottom-up datasets. We see that the CH_4 total is in good agreement with the other bottom-up set of data, together with the energy, waste and agricultural sectors. Only the IPPU sector deviates slightly, which may be caused by methodological differences in the EDGAR data. Abbildung 111 shows the mean CH_4 emissions over the three decades (1990-1999, 2000-2009, 2010-2019) across individual sectors as well as the corresponding trend in each sector. We see that the energy and the waste sector have contributed substantially to the methane emission reductions, whilst agricultural emissions decreased only slowly. Abbildung 112 shows methane data from global inversions and from the GOSAT satellite. We see that the error bar for both methods is larger than from the reported UNFCCC emissions. However, both methods verify the trend of the reported UNFCCC data and envelope the reported UNFCCC methane data. Data from VERIFY for countries with lesser days of cloud cover, e.g. in southern Europe, show even better results for the top-down methane data, with smaller error bars, due to the higher availability of data from spaceborne sensors Petrescu et al.[157].

[157] Petrescu, A. M. R. *et al.* The consolidated European synthesis of CH_4 and N_2O emissions for EU27 and UK: 1990–2020. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 1–97 (2022) doi:10.5194/essd-2022-287.



VERIFY Project

Abbildung 110: Anthropogenic CH_4 data for the reported UNFCCC data as well as selected bottom-up datasets.



VERIFY Project

Abbildung 111: Trends in anthropogenic CH_4 data for the reported UNFCCC data over three decades.

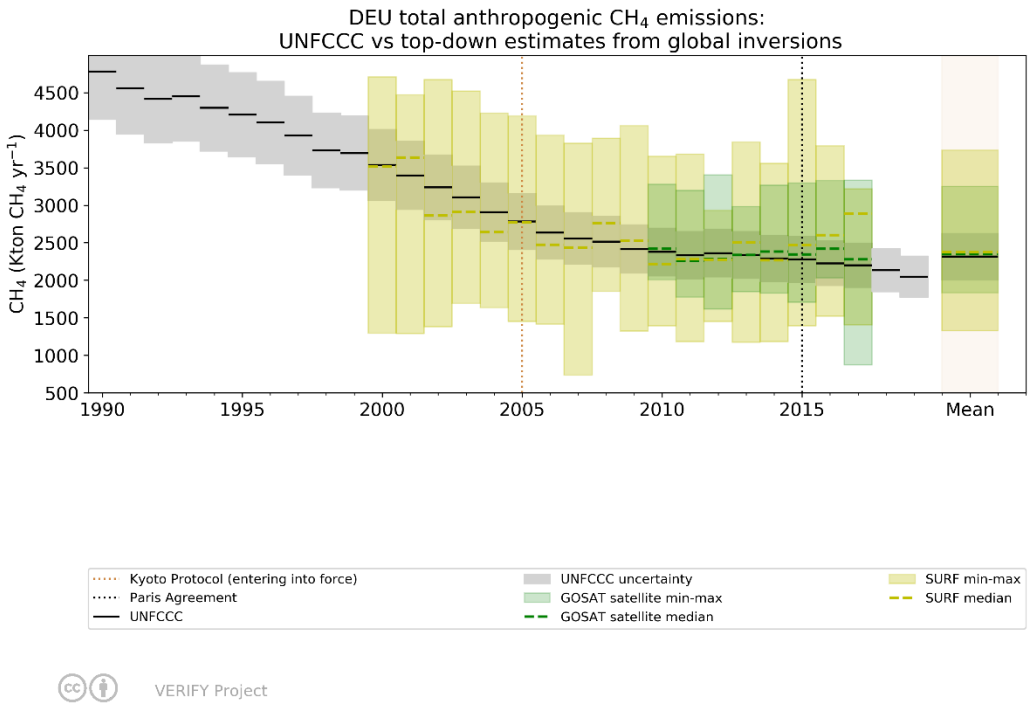


Abbildung 112: Top down anthropogenic CH_4 emissions from the GOSAT satellite as well as from global inversions.

19.1.5.4 N_2O

The N_2O data is also described in Petrescu et al. [157]. Abbildung 113 shows the N_2O trend in the different sectors compared to the UNFCCC data. The trend as well as the magnitude of the N_2O data in the individual sectors fit quite well, given the large error bars in the different sectors, such as the agricultural and waste sector. The three decadal plot of Abbildung 114 shows that the largest cuts in emissions have been achieved by the IPPU sector, whilst energy, LULUCF and agriculture have seen a slight increase of N_2O in the last two decades.

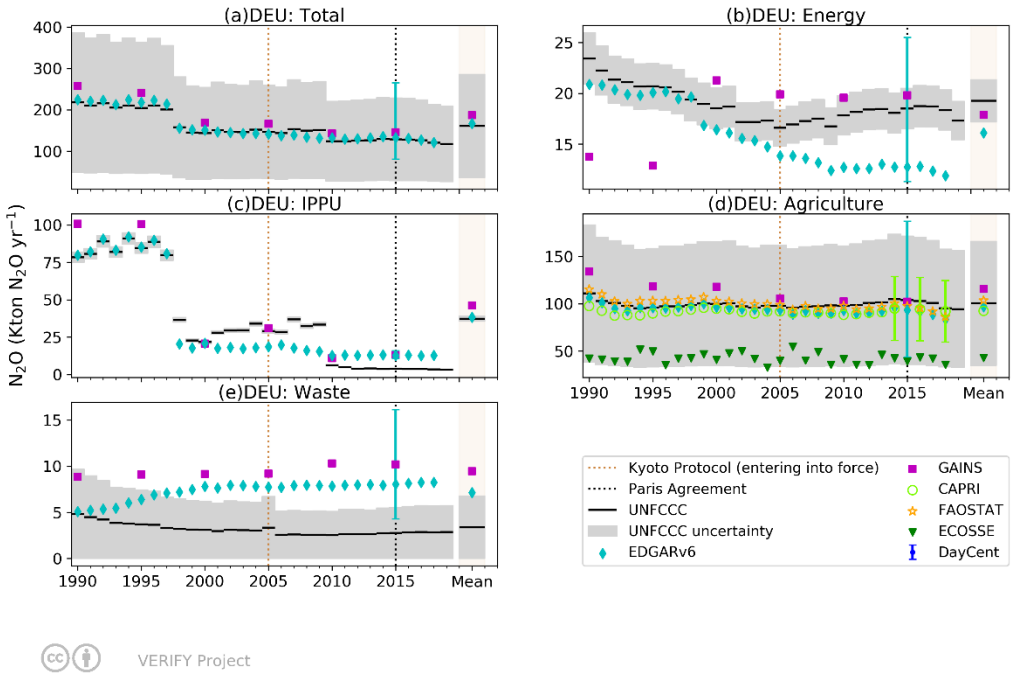


Abbildung 113: Anthropogenic N_2O data for the reported UNFCCC data as well as selected bottom-up datasets.

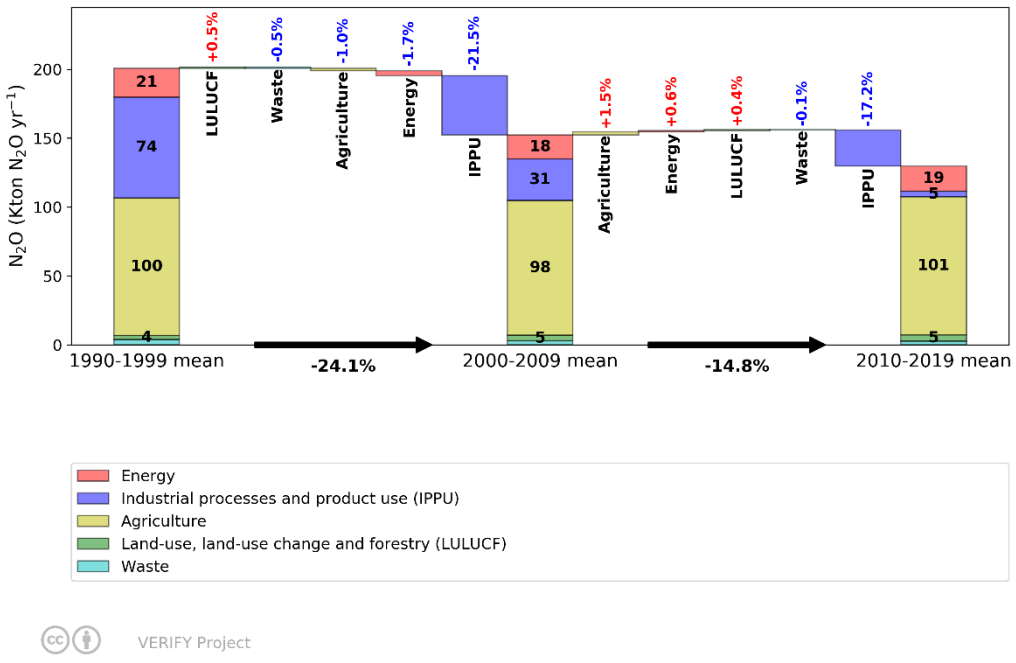


Abbildung 114: Trends in N_2O data for the reported UNFCCC data over three decades.

19.1.6 Detailed sector time series analysis

Time series analysis of the Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) in greater sector detail is shown in figure V8. EDGAR is one of the key sets of data which has been

recommended by the IPCC 2019 refinements on QA/QC & verification for GHG reporting by Romano et al.[154]. The data by Crippa et al.[158] of version 7 may be retrieved from the EDGAR project page: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022#intro. It is available as separate excel or ".csv" files from the JRC. All sector data for the three gases shown in Abbildung 115 illustrates that the trend between the EDGAR 7.0 data and the inventory data is very similar, as shown by the other, more, coarser sectoral VERIFY analysis above. The major emitting sectors are also in the same order of magnitude in the EDGAR 7.0 and the UNFCCC data. This shows that there is a high correlation between the two sets of data for all the three major greenhouse gases. Smaller deviations between the two sets of data may be due to country specific differences in the reporting (higher tier reporting in the national UNFCCC data due to an improved level of dis-aggregation and more complex models vs. more generic approaches) in case of EDGAR.

[158] Crippa, M., Guizzardi, D., Banja, M., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E., Pagani, F., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Grassi, G., Rossi, S., Jacome Felix Oom, D., Branco, A., San-Miguel-Ayanz, J. and Vignati, E., CO2 emissions of all world countries - 2022 Report, EUR 31182 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/730164, JRC130363

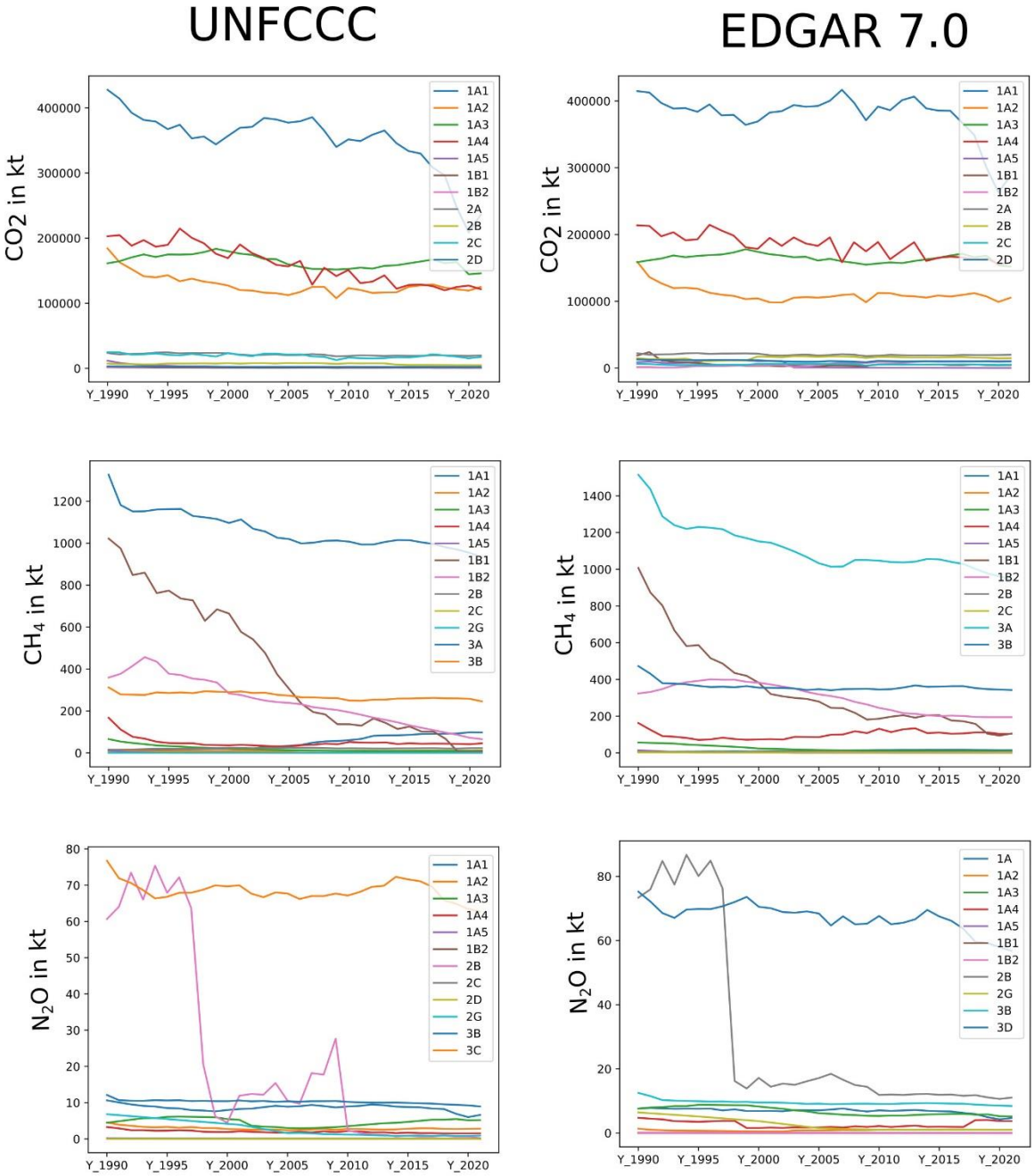


Abbildung 115: Trend data from the German GHG inventory (left) vs. EDGAR 7.0 data for Germany (right).

19.2 Ergänzenden Informationen

19.2.1 Standard Electronic Format (SEF) Tabellen

Die SEF-Tabellen werden als seperate Exceldateien beigefügt.

19.2.2 Detailliertere Informationen über das nationale System und Änderungen im nationalen System

Alle Informationen wurden in den vorangegangenen Kapiteln gegeben.

19.2.3 Weitere detaillierte Informationen zu den Nationalen Registern und der Buchführung der Kyoto-Einheiten

The required documents are confidential and accessible for assessors only.

19.3 Zusatzinformationen zu den Trends der Treibhausgase

Hier finden sie die detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion der Kapitel 0.2 und 2.

Tabelle 521: 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)	**1.054.741**	**1.016.870**	**969.474**	**959.367**	**943.185**	**939.897**	**959.653**	**931.487**	**923.467**	**895.402**	**898.938**	**915.242**	**898.835**	**899.858**	**885.633**
Net CO_2 emissions/removals	1.083.501	984.708	928.857	917.822	906.668	909.585	935.737	908.329	900.181	868.154	891.603	898.206	913.893	909.740	890.217
CH_4 (mit LULUCF)	**132.606**	**126.231**	**122.193**	**122.909**	**118.429**	**115.632**	**112.544**	**107.422**	**101.789**	**100.616**	**96.046**	**91.918**	**87.213**	**83.234**	**76.469**
CH_4(ohne LULUCF)	138.936	132.556	128.543	129.238	124.756	121.955	118.872	113.746	108.112	106.938	102.370	98.250	93.562	89.612	82.866
N_2O(mit LULUCF)	**51.554**	**50.074**	**51.577**	**49.022**	**50.730**	**49.111**	**50.462**	**47.854**	**36.439**	**32.963**	**32.472**	**34.300**	**33.553**	**33.336**	**34.810**
N_2O(ohne LULUCF)	52.440	50.954	52.467	49.900	51.604	49.981	51.333	48.720	37.302	33.824	33.332	35.356	34.619	34.417	35.898
F-Gasse Summe	**12.324**	**11.890**	**12.382**	**15.008**	**15.449**	**16.021**	**15.209**	**15.424**	**15.909**	**14.200**	**12.735**	**13.409**	**13.437**	**12.962**	**13.380**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**1.251.225**	**1.205.065**	**1.155.626**	**1.146.307**	**1.127.793**	**1.120.661**	**1.137.869**	**1.102.187**	**1.077.604**	**1.043.181**	**1.040.192**	**1.054.869**	**1.033.038**	**1.029.390**	**1.010.291**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	1.287.200	1.180.109	1.122.249	1.111.968	1.098.477	1.097.542	1.121.151	1.086.218	1.061.504	1.023.116	1.040.041	1.045.221	1.055.511	1.046.730	1.022.360

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)	**865.471**	**877.498**	**850.230**	**852.858**	**788.286**	**831.130**	**807.614**	**812.816**	**833.804**	**794.739**	**798.085**	**801.745**	**785.986**	**754.811**	**707.491**
Net CO_2 emissions/removals	865.778	870.903	846.710	843.916	770.500	820.839	791.170	787.704	809.946	778.062	779.213	780.350	767.606	739.346	692.963
CH_4 (mit LULUCF)	**72.574**	**68.159**	**65.670**	**64.296**	**61.477**	**60.100**	**58.551**	**58.893**	**57.899**	**56.368**	**55.895**	**54.178**	**53.339**	**51.098**	**48.261**
CH_4(ohne LULUCF)	78.999	74.601	72.125	70.769	67.968	66.607	65.061	65.409	64.421	62.898	62.436	60.719	59.883	57.762	54.832
N_2O(mit LULUCF)	**33.367**	**32.702**	**35.332**	**34.203**	**34.545**	**27.449**	**27.458**	**27.584**	**27.718**	**28.202**	**28.155**	**28.019**	**27.548**	**26.383**	**25.669**
N_2O(ohne LULUCF)	34.466	33.734	36.361	35.232	35.697	28.576	28.582	28.712	28.841	29.350	29.314	29.145	28.679	27.526	26.805
F-Gasse Summe	**13.576**	**13.539**	**13.634**	**13.618**	**14.028**	**13.701**	**13.880**	**14.056**	**14.085**	**14.085**	**14.523**	**14.619**	**14.710**	**13.879**	**13.212**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**984.987**	**991.897**	**964.865**	**964.974**	**898.336**	**932.379**	**907.502**	**913.348**	**933.505**	**893.394**	**896.658**	**898.560**	**881.583**	**846.171**	**794.634**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	992.819	992.776	968.830	963.536	888.193	929.723	898.693	895.881	917.293	884.395	885.486	884.832	870.878	838.514	787.811

THG Emissionen/Senken, CO_2-äquivalent (kt)	2020	2021
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**647.252**	**678.799**
Net CO_2 emissions/removals	643.742	675.066
CH_4 (mit LULUCF)	**47.051**	**45.688**
CH_4(ohne LULUCF)	53.613	52.255
N_2O(mit LULUCF)	**24.922**	**24.767**
N_2O(ohne LULUCF)	26.068	25.931
F-Gasse Summe	**11.697**	**11.104**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**730.923**	**760.358**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	735.120	764.356

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	**1.044.156**	**1.007.215**	**958.785**	**949.524**	**926.793**	**922.578**	**943.004**	**911.145**	**901.164**	**876.231**	**872.552**	**892.180**	**875.825**	**870.547**	**853.172**
2. Industrieprozesse	**93.227**	**89.560**	**89.541**	**90.804**	**96.329**	**94.758**	**92.869**	**93.460**	**81.007**	**73.404**	**76.658**	**73.025**	**71.464**	**75.462**	**77.199**
3. Landwirtschaft	**72.632**	**65.681**	**64.228**	**63.329**	**63.179**	**63.189**	**63.734**	**62.750**	**63.202**	**63.368**	**62.732**	**63.457**	**61.259**	**60.682**	**59.802**
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	**35.976**	**-24.956**	**-33.376**	**-34.339**	**-29.316**	**-23.118**	**-16.718**	**-15.969**	**-16.100**	**-20.064**	**-151**	**-9.648**	**22.473**	**17.339**	**12.069**
CO_2	28.760	-32.162	-40.617	-41.545	-36.517	-30.312	-23.917	-23.158	-23.286	-27.248	-7.335	-17.036	15.058	9.881	4.585
N_2O & CH_4	7.215	7.206	7.241	7.207	7.201	7.194	7.199	7.189	7.186	7.184	7.183	7.388	7.415	7.458	7.485
5. Abfall	**41.209**	**42.608**	**43.072**	**42.650**	**41.492**	**40.136**	**38.262**	**34.832**	**32.230**	**30.178**	**28.250**	**26.208**	**24.491**	**22.699**	**20.118**

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	**832.819**	**842.705**	**815.735**	**820.513**	**762.431**	**800.320**	**776.304**	**783.203**	**803.522**	**762.833**	**767.815**	**768.841**	**748.982**	**718.460**	**671.198**
2. Industrieprozesse	**74.091**	**74.303**	**75.199**	**71.560**	**64.038**	**61.850**	**61.816**	**60.925**	**60.750**	**60.674**	**59.700**	**61.518**	**65.453**	**62.549**	**59.534**
3. Landwirtschaft	**59.623**	**58.506**	**59.063**	**59.424**	**59.768**	**59.355**	**59.394**	**60.052**	**60.852**	**62.108**	**61.967**	**61.546**	**60.867**	**59.265**	**58.525**
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	**7.832**	**879**	**3.965**	**-1.439**	**-10.143**	**-2.656**	**-8.809**	**-17.467**	**-16.213**	**-8.999**	**-11.172**	**-13.727**	**-10.705**	**-7.657**	**-6.822**
CO_2	307	-6.595	-3.520	-8.942	-17.786	-10.290	-16.444	-25.111	-23.859	-16.677	-18.872	-21.395	-18.380	-15.465	-14.529
N_2O & CH_4	7.525	7.473	7.484	7.503	7.643	7.635	7.634	7.644	7.646	7.677	7.700	7.667	7.675	7.808	7.707
5. Abfall	**18.454**	**16.383**	**14.868**	**13.478**	**12.099**	**10.853**	**9.987**	**9.167**	**8.381**	**7.780**	**7.175**	**6.655**	**6.281**	**5.897**	**5.377**

THG Emissionen/Senken, nach Quell- und Senkengruppen, CO_2-äquivalent (kt)	2020	
1. Energie	**613.329**	**642.351**
2. Industrieprozesse	**55.140**	**57.180**
3. Landwirtschaft	**57.552**	**56.333**
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	**4.197**	**3.998**
CO_2	-3.511	-3.733
N_2O & CH_4	7.708	7.731
5. Abfall	**4.901**	**4.494**

Tabelle 522: 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	2021
CO_2 –Emissionen*	84,30	84,38	83,89	83,69	83,63	83,87	84,34	84,51	85,70	85,83	86,42	86,76	87,01	87,42	87,66	87,87	88,47	88,12	88,38	87,75	89,14	88,99	88,99	89,32	88,96	89,01	89,23	89,16	89,20	89,03	88,55	89,27
CH_4*	10,60	10,47	10,57	10,72	10,50	10,32	9,89	9,75	9,45	9,65	9,23	8,71	8,44	8,09	7,57	7,37	6,87	6,81	6,66	6,84	6,45	6,45	6,45	6,20	6,31	6,23	6,03	6,05	6,04	6,07	6,44	6,01
N_2O*	4,12	4,16	4,46	4,28	4,50	4,38	4,43	4,34	3,38	3,16	3,12	3,25	3,25	3,24	3,45	3,39	3,30	3,66	3,54	3,85	2,94	3,03	3,02	2,97	3,16	3,14	3,12	3,12	3,12	3,23	3,41	3,26
F-Gase Summe	0,98	0,99	1,07	1,31	1,37	1,43	1,34	1,40	1,48	1,36	1,22	1,27	1,30	1,26	1,32	1,38	1,36	1,41	1,41	1,56	1,47	1,53	1,54	1,51	1,58	1,62	1,63	1,67	1,64	1,66	1,60	1,46
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**	**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	2021
1. Energie	83,45	83,58	82,97	82,83	82,18	82,32	82,87	82,67	83,63	84,00	83,88	84,58	84,78	84,57	84,45	84,55	84,96	84,54	85,03	84,87	85,84	85,54	85,75	86,08	85,39	85,63	85,56	84,96	84,91	84,47	83,91	84,48
2. Industrieprozesse	7,45	7,43	7,75	7,92	8,54	8,46	8,16	8,48	7,52	7,04	7,37	6,92	6,92	7,33	7,64	7,52	7,49	7,79	7,42	7,13	6,63	6,81	6,67	6,51	6,79	6,66	6,85	7,42	7,39	7,49	7,54	7,52
4. Landwirtschaft	5,80	5,45	5,56	5,52	5,60	5,64	5,60	5,69	5,87	6,07	6,03	6,02	5,93	5,89	5,92	6,05	5,90	6,12	6,16	6,65	6,37	6,54	6,57	6,52	6,95	6,91	6,85	6,90	7,00	7,37	7,87	7,41
5. Abfall	3,29	3,54	3,73	3,72	3,68	3,58	3,36	3,16	2,99	2,89	2,72	2,48	2,37	2,21	1,99	1,87	1,65	1,54	1,40	1,35	1,16	1,10	1,00	0,90	0,87	0,80	0,74	0,71	0,70	0,68	0,67	0,59
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**	**100,0**

* ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Tabelle 523: 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)	**1.054.741**	**1.016.870**	**969.474**	**959.367**	**943.185**	**939.897**	**959.653**	**931.487**	**923.467**	**895.402**	**898.938**	**915.242**	**898.835**	**899.858**	**885.633**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	1.083.501	984.708	928.857	917.822	906.668	909.585	935.737	908.329	900.181	868.154	891.603	898.206	913.893	909.740	890.217
CH_4 (ohne LULUCF)	**4.736**	**4.508**	**4.364**	**4.390**	**4.230**	**4.130**	**4.019**	**3.836**	**3.635**	**3.593**	**3.430**	**3.283**	**3.115**	**2.973**	**2.731**
CH_4(mit LULUCF)	4.962	4.734	4.591	4.616	4.456	4.356	4.245	4.062	3.861	3.819	3.656	3.509	3.342	3.200	2.959
N_2O(ohne LULUCF)	**195**	**189**	**195**	**185**	**191**	**185**	**190**	**181**	**138**	**124**	**123**	**129**	**127**	**126**	**131**
N_2O(mit LULUCF)	198	192	198	188	195	189	194	184	141	128	126	133	131	130	135
F-Gase Summe (CO_2-äquivalent)	**12.324**	**11.890**	**12.382**	**15.008**	**15.449**	**16.021**	**15.209**	**15.424**	**15.909**	**14.200**	**12.735**	**13.409**	**13.437**	**12.962**	**13.380**
NO_X	**2.847**	**2.620**	**2.469**	**2.364**	**2.232**	**2.172**	**2.087**	**2.012**	**1.983**	**1.946**	**1.868**	**1.812**	**1.752**	**1.709**	**1.664**
SO_2	**5.464**	**3.964**	**3.237**	**2.902**	**2.416**	**1.743**	**1.476**	**1.226**	**978**	**798**	**643**	**622**	**559**	**532**	**492**
NMVOC	**3.949**	**3.427**	**3.105**	**2.916**	**2.494**	**2.363**	**2.263**	**2.206**	**2.147**	**1.982**	**1.814**	**1.718**	**1.625**	**1.543**	**1.539**
CO	**13.354**	**11.083**	**9.553**	**8.637**	**7.603**	**7.234**	**6.659**	**6.416**	**5.900**	**5.484**	**5.146**	**4.946**	**4.642**	**4.311**	**4.094**
Emissionsentwicklung (kt)	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**865.471**	**877.498**	**850.230**	**852.858**	**788.286**	**831.130**	**807.614**	**812.816**	**833.804**	**794.739**	**798.085**	**801.745**	**785.986**	**754.811**	**707.491**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	865.778	870.903	846.710	843.916	770.500	820.839	791.170	787.704	809.946	778.062	779.213	780.350	767.606	739.346	692.963
CH_4 (ohne LULUCF)	**2.592**	**2.434**	**2.345**	**2.296**	**2.196**	**2.146**	**2.091**	**2.103**	**2.068**	**2.013**	**1.996**	**1.935**	**1.905**	**1.825**	**1.724**
CH_4(mit LULUCF)	2.821	2.664	2.576	2.527	2.427	2.379	2.324	2.336	2.301	2.246	2.230	2.169	2.139	2.063	1.958
N_2O(ohne LULUCF)	**126**	**123**	**133**	**129**	**130**	**104**	**104**	**104**	**105**	**106**	**106**	**106**	**104**	**100**	**97**
N_2O(mit LULUCF)	130	127	137	133	135	108	108	108	109	111	111	110	108	104	101
F-Gase Summe (CO_2-äquivalent)	**13.576**	**13.539**	**13.634**	**13.618**	**14.028**	**13.701**	**13.880**	**14.056**	**14.085**	**14.085**	**14.523**	**14.619**	**14.710**	**13.879**	**13.212**
NO_X	**1.617**	**1.631**	**1.585**	**1.530**	**1.439**	**1.458**	**1.437**	**1.432**	**1.435**	**1.391**	**1.366**	**1.332**	**1.276**	**1.188**	**1.104**
SO_2	**473**	**474**	**457**	**451**	**393**	**403**	**388**	**369**	**357**	**336**	**334**	**310**	**301**	**290**	**260**
NMVOC	**1.490**	**1.486**	**1.424**	**1.361**	**1.247**	**1.363**	**1.274**	**1.258**	**1.213**	**1.173**	**1.147**	**1.139**	**1.143**	**1.096**	**1.066**
CO	**3.863**	**3.831**	**3.790**	**3.767**	**3.225**	**3.536**	**3.457**	**3.206**	**3.168**	**3.000**	**3.102**	**2.973**	**2.981**	**2.863**	**2.756**
Emissionsentwicklung (kt)	**2020**	**2021**													
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**647.252**	**678.799**													
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	643.742	675.066													
CH_4 (ohne LULUCF)	**1.680**	**1.632**													
CH_4(mit LULUCF)	1.915	1.866													
N_2O(ohne LULUCF)	**94**	**93**													
N_2O(mit LULUCF)	98	98													
F-Gase Summe (CO_2-äquivalent)	**11.697**	**11.104**													
NO_X	**974**	**966**													
SO_2	**241**	**254**													
NMVOC	**1.029**	**1.044**													
CO	**2.454**	**2.587**													

Tabelle 524: 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**	**-8,1**	**-9,0**	**-10,6**	**-10,9**	**-9,0**	**-11,7**	**-12,4**	**-15,1**	**-14,8**	**-13,2**	**-14,8**	**-14,7**	**-16,0**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen		-9,1	-14,3	-15,3	-16,3	-16,1	-13,6	-16,2	-16,9	-19,9	-17,7	-17,1	-15,7	-16,0	-17,8
CH_4(ohne LULUCF)		**-4,8**	**-7,9**	**-7,3**	**-10,7**	**-12,8**	**-15,1**	**-19,0**	**-23,2**	**-24,1**	**-27,6**	**-30,7**	**-34,2**	**-37,2**	**-42,3**
N_2O(ohne LULUCF)		**-2,9**	**+0,0**	**-4,9**	**-1,6**	**-4,7**	**-2,1**	**-7,2**	**-29,3**	**-36,1**	**-37,0**	**-33,5**	**-34,9**	**-35,3**	**-32,5**
F-Gase Summe							**-5,1**	**-3,7**	**-0,7**	**-11,4**	**-20,5**	**-16,3**	**-16,1**	**-19,1**	**-16,5**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF		**-3,7**	**-7,6**	**-8,4**	**-9,9**	**-10,4**	**-9,1**	**-11,9**	**-13,9**	**-16,6**	**-16,9**	**-15,7**	**-17,4**	**-17,7**	**-19,3**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF		-8,3	-12,8	-13,6	-14,7	-14,7	-12,9	-15,6	-17,5	-20,5	-19,2	-18,8	-18,0	-18,7	-20,6
*Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr**		*-4,0*	*-7,9*	*-8,7*	*-10,1*	*-10,7*	*-9,3*	*-12,2*	*-14,1*	*-16,9*	*-17,1*	*-15,9*	*-17,7*	*-18,0*	*-19,5*
NO_X		**-8,0**	**-13,3**	**-17,0**	**-21,6**	**-23,7**	**-26,7**	**-29,3**	**-30,3**	**-31,6**	**-34,4**	**-36,3**	**-38,5**	**-40,0**	**-41,5**
SO_2		**-27,5**	**-40,8**	**-46,9**	**-55,8**	**-68,1**	**-73,0**	**-77,6**	**-82,1**	**-85,4**	**-88,2**	**-88,6**	**-89,8**	**-90,3**	**-91,0**
NMVOC		**-13,2**	**-21,4**	**-26,2**	**-36,8**	**-40,2**	**-42,7**	**-44,1**	**-45,6**	**-49,8**	**-54,1**	**-56,5**	**-58,8**	**-60,9**	**-61,0**
CO		**-17,0**	**-28,5**	**-35,3**	**-43,1**	**-45,8**	**-50,1**	**-52,0**	**-55,8**	**-58,9**	**-61,5**	**-63,0**	**-65,2**	**-67,7**	**-69,3**

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)	**-17,9**	**-16,8**	**-19,4**	**-19,1**	**-25,3**	**-21,2**	**-23,4**	**-22,9**	**-20,9**	**-24,7**	**-24,3**	**-24,0**	**-25,5**	**-28,4**	**-32,9**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-20,1	-19,6	-21,9	-22,1	-28,9	-24,2	-27,0	-27,3	-25,2	-28,2	-28,1	-28,0	-29,2	-31,8	-36,0
CH_4(ohne LULUCF)	**-45,3**	**-48,6**	**-50,5**	**-51,5**	**-53,6**	**-54,7**	**-55,8**	**-55,6**	**-56,3**	**-57,5**	**-57,8**	**-59,1**	**-59,8**	**-61,5**	**-63,6**
N_2O(ohne LULUCF)	**-35,3**	**-36,6**	**-31,5**	**-33,7**	**-33,0**	**-46,8**	**-46,7**	**-46,5**	**-46,2**	**-45,3**	**-45,4**	**-45,7**	**-46,6**	**-48,8**	**-50,2**
F-Gase Summe	**-15,3**	**-15,5**	**-14,9**	**-15,0**	**-12,4**	**-14,5**	**-13,4**	**-12,3**	**-12,1**	**-12,1**	**-9,4**	**-8,8**	**-8,2**	**-13,4**	**-17,5**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-21,3**	**-20,7**	**-22,9**	**-22,9**	**-28,2**	**-25,5**	**-27,5**	**-27,0**	**-25,4**	**-28,6**	**-28,3**	**-28,2**	**-29,5**	**-32,4**	**-36,5**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-22,9	-22,9	-24,7	-25,1	-31,0	-27,8	-30,2	-30,4	-28,7	-31,3	-31,2	-31,3	-32,3	-34,9	-38,8
*Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr**	*-21,5*	*-21,0*	*-23,1*	*-23,1*	*-28,4*	*-25,7*	*-27,7*	*-27,2*	*-25,6*	*-28,8*	*-28,5*	*-28,4*	*-29,7*	*-32,6*	*-36,7*
NO_X	**-43,2**	**-42,7**	**-44,3**	**-46,3**	**-49,5**	**-48,8**	**-49,5**	**-49,7**	**-49,6**	**-51,1**	**-52,0**	**-53,2**	**-55,2**	**-58,3**	**-61,2**
SO_2	**-91,3**	**-91,3**	**-91,6**	**-91,8**	**-92,8**	**-92,6**	**-92,9**	**-93,2**	**-93,5**	**-93,9**	**-93,9**	**-94,3**	**-94,5**	**-94,7**	**-95,2**
NMVOC	**-62,3**	**-62,4**	**-64,0**	**-65,5**	**-68,4**	**-65,5**	**-67,7**	**-68,2**	**-69,3**	**-70,3**	**-71,0**	**-71,2**	**-71,1**	**-72,3**	**-73,0**
CO	**-71,1**	**-71,3**	**-71,6**	**-71,8**	**-75,9**	**-73,5**	**-74,1**	**-76,0**	**-76,3**	**-77,5**	**-76,8**	**-77,7**	**-77,7**	**-78,6**	**-79,4**

Emissionsentwicklung Trend gegenüber 1990/1995 (%)	2020	2021
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**-38,6**	**-35,6**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-40,6	-37,7
CH_4(ohne LULUCF)	**-64,5**	**-65,5**
N_2O(ohne LULUCF)	**-51,7**	**-52,0**
F-Gase Summe	**-27,0**	**-30,7**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-41,6**	**-39,2**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-42,9	-40,6
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr*	*-41,8*	*-39,4*
NO_X	**-65,8**	**-66,1**
SO_2	**-95,6**	**-95,3**
NMVOC	**-74,0**	**-73,6**
CO	**-81,6**	**-80,6**

* Basisjahr für CO_2, CH_4 & N_2O ist das Jahr 1990, für HFC, PFC, SF_6 & NF_3 das Jahr 1995

Tabelle 525: 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**	**-4,7**	**-1,0**	**-1,7**	**-0,3**	**+2,1**	**-2,9**	**-0,9**	**-3,0**	**+0,4**	**+1,8**	**-1,8**	**+0,1**	**-1,6**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen		-9,1	-5,7	-1,2	-1,2	+0,3	+2,9	-2,9	-0,9	-3,6	+2,7	+0,7	+1,7	-0,5	-2,1
CH_4(ohne LULUCF)		**-4,8**	**-3,2**	**+0,6**	**-3,6**	**-2,4**	**-2,7**	**-4,6**	**-5,2**	**-1,2**	**-4,5**	**-4,3**	**-5,1**	**-4,6**	**-8,1**
N_2O(ohne LULUCF)		**-2,9**	**+3,0**	**-5,0**	**+3,5**	**-3,2**	**+2,8**	**-5,2**	**-23,9**	**-9,5**	**-1,5**	**+5,6**	**-2,2**	**-0,6**	**+4,4**
F-Gase Summe							**-5,1**	**+1,4**	**+3,1**	**-10,7**	**-10,3**	**+5,3**	**+0,2**	**-3,5**	**+3,2**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF		**-3,7**	**-4,1**	**-0,8**	**-1,6**	**-0,6**	**+1,5**	**-3,1**	**-2,2**	**-3,2**	**-0,3**	**+1,4**	**-2,1**	**-0,4**	**-1,9**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF		-8,3	-4,9	-0,9	-1,2	-0,1	+2,2	-3,1	-2,3	-3,6	+1,7	+0,5	+1,0	-0,8	-2,3
NO_X		**-8,0**	**-5,7**	**-4,3**	**-5,6**	**-2,7**	**-3,9**	**-3,6**	**-1,5**	**-1,9**	**-4,0**	**-3,0**	**-3,3**	**-2,4**	**-2,6**
SO_2		**-27,5**	**-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		**-13,2**	**-9,4**	**-6,1**	**-14,5**	**-5,3**	**-4,2**	**-2,5**	**-2,7**	**-7,7**	**-8,5**	**-5,3**	**-5,4**	**-5,1**	**-0,3**
CO		**-17,0**	**-13,8**	**-9,6**	**-12,0**	**-4,9**	**-7,9**	**-3,7**	**-8,0**	**-7,0**	**-6,2**	**-3,9**	**-6,1**	**-7,1**	**-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**	**+1,4**	**-3,1**	**+0,3**	**-7,6**	**+5,4**	**-2,8**	**+0,6**	**+2,6**	**-4,7**	**+0,4**	**+0,5**	**-2,0**	**-4,0**	**-6,3**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-2,7	+0,6	-2,8	-0,3	-8,7	+6,5	-3,6	-0,4	+2,8	-3,9	+0,1	+0,1	-1,6	-3,7	-6,3
CH_4(ohne LULUCF)	**-5,1**	**-6,1**	**-3,7**	**-2,1**	**-4,4**	**-2,2**	**-2,6**	**+0,6**	**-1,7**	**-2,6**	**-0,8**	**-3,1**	**-1,5**	**-4,2**	**-5,6**
N_2O(ohne LULUCF)	**-4,1**	**-2,0**	**+8,0**	**-3,2**	**+1,0**	**-20,5**	**+0,0**	**+0,5**	**+0,5**	**+1,7**	**-0,2**	**-0,5**	**-1,7**	**-4,2**	**-2,7**
F-Gase Summe	**+1,5**	**-0,3**	**+0,7**	**-0,1**	**+3,0**	**-2,3**	**+1,3**	**+1,3**	**+0,2**	**+0,0**	**+3,1**	**+0,7**	**+0,6**	**-5,6**	**-4,8**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-2,5**	**+0,7**	**-2,7**	**+0,0**	**-6,9**	**+3,8**	**-2,7**	**+0,6**	**+2,2**	**-4,3**	**+0,4**	**+0,2**	**-1,9**	**-4,0**	**-6,1**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-2,9	-0,0	-2,4	-0,5	-7,8	+4,7	-3,3	-0,3	+2,4	-3,6	+0,1	-0,1	-1,6	-3,7	-6,0
NO_X	**-2,9**	**+0,9**	**-2,8**	**-3,5**	**-5,9**	**+1,3**	**-1,4**	**-0,4**	**+0,2**	**-3,0**	**-1,8**	**-2,5**	**-4,2**	**-6,9**	**-7,1**
SO_2	**-3,8**	**+0,2**	**-3,6**	**-1,3**	**-12,8**	**+2,6**	**-3,9**	**-4,8**	**-3,2**	**-6,0**	**-0,5**	**-7,3**	**-2,8**	**-3,8**	**-10,2**
NMVOC	**-3,1**	**-0,3**	**-4,2**	**-4,4**	**-8,3**	**+9,3**	**-6,6**	**-1,3**	**-3,6**	**-3,2**	**-2,3**	**-0,6**	**+0,3**	**-4,1**	**-2,7**
CO	**-5,6**	**-0,8**	**-1,1**	**-0,6**	**-14,4**	**+9,6**	**-2,3**	**-7,3**	**-1,2**	**-5,3**	**+3,4**	**-4,1**	**+0,3**	**-4,0**	**-3,7**

Emissionsentwicklung Trend gegenüber dem jeweils letzten Jahr (%)	2020
CO_2-Emissionen (ohne LULUCF)	**-8,5**	**+4,9**
Netto-CO_2-Emissionen/ -Einbindungen	-7,1	+4,9
CH_4(ohne LULUCF)	**-2,5**	**-2,9**
N_2O(ohne LULUCF)	**-2,9**	**-0,6**
F-Gase Summe	**-11,5**	**-5,1**
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	**-8,0**	**+4,0**
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-6,7	+4,0
NO_X	**-11,8**	**-0,9**
SO_2	**-7,4**	**+5,4**
NMVOC	**-3,5**	**+1,5**
CO	**-11,0**	**+5,4**

Tabelle 526: 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		-3,5%	-8,2%	-9,1%	-11,2%	-11,6%	-9,7%	-12,7%	-13,7%	-16,1%	-16,4%	-14,6%	-16,1%	-16,6%	-18,3%	-20,2%	-19,3%	-21,9%	-21,4%	-27,0%
2. Industrieprozesse		-3,9%	-4,0%	-2,6%	3,3%	1,6%	-0,4%	0,2%	-13,1%	-21,3%	-17,8%	-21,7%	-23,3%	-19,1%	-17,2%	-20,5%	-20,3%	-19,3%	-23,2%	-31,3%
3. Landwirtschaft		-9,6%	-11,6%	-12,8%	-13,0%	-13,0%	-12,3%	-13,6%	-13,0%	-12,8%	-13,6%	-12,6%	-15,7%	-16,5%	-17,7%	-17,9%	-19,4%	-18,7%	-18,2%	-17,7%
5. Abfall		3,4%	4,5%	3,5%	0,7%	-2,6%	-7,2%	-15,5%	-21,8%	-26,8%	-31,4%	-36,4%	-40,6%	-44,9%	-51,2%	-55,2%	-60,2%	-63,9%	-67,3%	-70,6%

Emissionsentwicklung gegenüber 1990, Veränderung in %	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1. Energie	-23,4%	-25,7%	-25,0%	-23,0%	-26,9%	-26,5%	-26,4%	-28,3%	-31,2%	-35,7%	-41,3%	-38,5%
2. Industrieprozesse	-33,7%	-33,7%	-34,6%	-34,8%	-34,9%	-36,0%	-34,0%	-29,8%	-32,9%	-36,1%	-40,9%	-38,7%
3. Landwirtschaft	-18,3%	-18,2%	-17,3%	-16,2%	-14,5%	-14,7%	-15,3%	-16,2%	-18,4%	-19,4%	-20,8%	-22,4%
5. Abfall	-73,7%	-75,8%	-77,8%	-79,7%	-81,1%	-82,6%	-83,9%	-84,8%	-85,7%	-87,0%	-88,1%	-89,1%

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		-3,5%	-4,8%	-1,0%	-2,4%	-0,5%	2,2%	-3,4%	-1,1%	-2,8%	-0,4%	2,2%	-1,8%	-0,6%	-2,0%	-2,4%	1,2%	-3,2%	0,6%	-7,1%
2. Industrieprozesse		-3,9%	0,0%	1,4%	6,1%	-1,6%	-2,0%	0,6%	-13,3%	-9,4%	4,4%	-4,7%	-2,1%	5,6%	2,3%	-4,0%	0,3%	1,2%	-4,8%	-10,5%
3. Landwirtschaft		-9,6%	-2,2%	-1,4%	-0,2%	0,0%	0,9%	-1,5%	0,7%	0,3%	-1,0%	1,2%	-3,5%	-0,9%	-1,4%	-0,3%	-1,9%	1,0%	0,6%	0,6%
5. Abfall		3,4%	1,1%	-1,0%	-2,7%	-3,3%	-4,7%	-9,0%	-7,5%	-6,4%	-6,4%	-7,2%	-6,6%	-7,3%	-11,4%	-8,3%	-11,2%	-9,2%	-9,3%	-10,2%

Emissionsentwicklung, gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1. Energie	5,0%	-3,0%	0,9%	2,6%	-5,1%	0,7%	0,1%	-2,6%	-4,1%	-6,6%	-8,6%	4,7%
2. Industrieprozesse	-3,4%	-0,1%	-1,4%	-0,3%	-0,1%	-1,6%	3,0%	6,4%	-4,4%	-4,8%	-7,4%	3,7%
3. Landwirtschaft	-0,7%	0,1%	1,1%	1,3%	2,1%	-0,2%	-0,7%	-1,1%	-2,6%	-1,2%	-1,7%	-2,1%
5. Abfall	-10,3%	-8,0%	-8,2%	-8,6%	-7,2%	-7,8%	-7,2%	-5,6%	-6,1%	-8,8%	-8,8%	-8,3%

19.4 Rückrechnungen: detaillierte Betrachtung auf Grundlage von CRF Table 8 (GWP IPCC AR 4)

Die folgenden Tabellen geben einen numerischen Überblick über die revidierten Emissionsangaben für die Jahre 1990 und 2020 gemäß CRF-Tabellen 8s1 bis 8s4 der aktuellen CRF-Submission. Die Erläuterungen zu den abgebildeten Rekalkulationen finden sich in Kapitel 10.1 dieses Berichtes sowie den jeweiligen kategoriespezifischen Kapiteln.

19.4.1 Überblick für das Berichtsjahr 1990

Tabelle 527: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**1.076.569,85**	**1.083.500,88**	**6.931,03**	**0,644**	**0,557**	**0,542**
1. Energie	**989.092,98**	**991.906,29**	**2.813,30**	**0,284**	**0,226**	**0,220**
A. Verbrennung von Energieträgern	985.252,52	988.065,64	2.813,11	0,286	0,226	0,220
1. Energieerzeugung	423.905,78	427.842,82	3.937,04	0,929	0,316	0,308
2. Verarbeitendes Gewerbe	185.165,00	184.187,46	-977,54	-0,528	-0,079	-0,076
3. Verkehr	161.503,89	161.352,10	-151,79	-0,094	-0,012	-0,012
4. Übrige Sektoren	202.924,95	202.918,64	-6,31	-0,003	-0,001	0,000
5. Sonstige	11.752,90	11.764,62	11,72	0,100	0,001	0,001
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	3.840,46	3.840,65	0,19	0,005	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	2.007,85	0,19	0,009	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**59.694,09**	**59.642,33**	**-51,76**	**-0,087**	**-0,0042**	**-0,0040**
A. Mineralische Industrie	23.522,38	23.522,38	0,00	0,000	0,000	0,000
B. Chemische Industrie	8.109,38	8.057,63	-51,75	-0,638	-0,004	-0,004
C. Metallerzeugung	25.079,88	25.079,88	0,00	0,000	0,000	0,000
D. nichtenerget. Brennstoffnutzung und Einsatz v. Lösemitteln	2.982,45	2.982,44	-0,01	-0,001	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	**3.192,03**	**3.192,03**	**0,00**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
4. Landnutzung, Landnutzungsänderung, Forstw.	**24.590,75**	**28.760,24**	**4.169,49**	**16,956**		**0,326**
A. Forste / Wälder	-19.707,07	-18.696,50	1.010,57	-5,128		0,079
B. Ackerland	13.762,36	14.722,32	959,96	6,975		0,075
C. Grasland	26.383,49	29.121,21	2.737,71	10,377		0,214
D. Feuchtgebiete	3.705,75	3.692,17	-13,58	-0,366		-0,001
E. Siedlungen	1.776,57	1.251,39	-525,17	-29,561		-0,041
G. Holzernteprodukte	-1.330,35	-1.330,35	0,00	0,000		0,000
5. Abfall & Abwasser	**NO,NE,NA**	**NO,NE,NA**				
6. Sonstige	**NA**	**NA**				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**19.032,74**	**18.990,05**	**-42,70**	**-0,224**	**-0,003**	**-0,003**
Internationaler Flugverkehr	11.922,23	12.072,65	150,42	1,262	0,012	0,012
Internationaler Seeverkehr	7.110,51	6.917,39	-193,12	-2,716	-0,016	-0,015
Multilaterale Operationen	IE,NE	NE				
CO_2 aus Biomasse	22.101,38	22.101,38	0,00	0,000	0,000	0,000

Tabelle 528: revidierte Methan-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**119.996,41**	**124.049,81**	**4.053,39**	**3,38**	**0,326**	**0,317**
1. Energie	**40.382,00**	**41.182,08**	**800,08**	**1,98**	**0,064**	**0,063**
A. Verbrennung von Energieträgern	6.587,64	6.645,37	57,73	0,88	0,005	0,005
1. Energieerzeugung	280,21	280,21	0,00	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	251,63	252,13	0,50	0,20	0,000	0,000
3. Verkehr	1.588,62	1.645,90	57,28	3,61	0,005	0,004
4. Übrige Sektoren	4.187,75	4.187,70	-0,05	0,00	0,000	0,000
5. Sonstige	279,42	279,42	0,00	0,00	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	33.794,37	34.536,72	742,35	2,20	0,060	0,058
1. Festbrennstoffe	25.553,44	25.553,44	0,00	0,00	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	8.240,93	8.983,28	742,35	9,01	0,060	0,058
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**351,46**	**410,97**	**59,51**	**16,93**	**0,005**	**0,005**
3. Landwirtschaft	**40.964,31**	**40.972,80**	**8,49**	**0,02**	**0,001**	**0,001**
A. Verdauung	33.161,69	33.161,70	0,00	0,00	0,000	0,000
B. Düngerwirtschaft	7.802,34	7.810,83	8,49	0,11	0,001	0,001
J. Übrige	0,28	0,28	0,00	0,00	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**1.441,09**	**5.651,95**	**4.210,86**	**292,20**		**0,329**
A. Forste / Wälder	39,47	30,70	-8,77	-22,21		-0,001
B. Ackerland	145,74	97,74	-48,00	-32,94		-0,004
C. Grasland	872,79	751,46	-121,32	-13,90		-0,009
D. Feuchtgebiete	335,07	4.755,24	4.420,18	1319,20		0,345
E. Siedlungen	48,03	16,80	-31,23	-65,01		-0,002
5. Abfall & Abwasser	**36.798,04**	**35.832,00**	**-966,04**	**-2,63**	**-0,078**	**-0,075**
A. Deponierung von festen Abfällen	34.200,20	33.206,48	-993,72	-2,91	-0,080	-0,078
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	25,34	53,03	27,69	109,25	0,002	0,002
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	6,97	6,64	-0,33	-4,67	0,000	0,000
Internationaler Flugverkehr	5,00	4,67	-0,33	-6,52	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	1,97	1,97	0,00	0,00	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	IE,NE	**IE,NE**				

Tabelle 529: revidierte Lachgas-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**58.960,11**	**58.969,76**	**9,65**	**0,02**	**0,001**	**0,001**
1. Energie	**6.968,73**	**6.889,08**	**-79,65**	**-1,14**	**-0,006**	**-0,006**
A. Verbrennung von Energieträgern	6.966,37	6.886,80	-79,57	-1,14	-0,006	-0,006
1. Energieerzeugung	3.167,08	3.167,08	0,00	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	1.350,36	1.352,50	2,15	0,16	0,000	0,000
3. Verkehr	1.410,78	1.329,15	-81,63	-5,79	-0,007	-0,006
4. Übrige Sektoren	977,26	977,18	-0,08	-0,01	0,000	0,000
5. Sonstige	60,89	60,89	0,00	0,00	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	2,36	2,28	-0,09	-3,60	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	2,36	2,28	-0,09	-3,60	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**23.390,92**	**23.390,92**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
3. Landwirtschaft	**26.424,71**	**26.483,16**	**58,45**	**0,22**	**0,005**	**0,005**
B. Düngerwirtschaft	3.656,06	3.611,05	-45,01	-1,23	-0,004	-0,004
D. Landwirtschaftliche Böden	22.768,53	22.871,98	103,46	0,45	0,008	0,008
J. Übrige	0,12	0,12	0,00	0,00	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**970,73**	**995,43**	**24,70**	**2,54**		**0,002**
A. Forste / Wälder	443,53	488,31	44,78	10,10		0,003
B. Ackerland	190,82	191,26	0,43	0,23		0,000
C. Grasland	65,22	69,71	4,49	6,88		0,000
D. Feuchtgebiete	34,10	33,94	-0,15	-0,45		0,000
E. Siedlungen	20,36	26,92	6,56	32,20		0,001
H . Sonstige	146,00	105,04	-40,96	-28,05		-0,003

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
5. Abfall & Abwasser	**1.205,02**	**1.211,18**	**6,16**	**0,51**	**0,000**	**0,000**
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	15,97	22,12	6,16	38,56	0,000	0,000
D. Abwasserbehandlung	1.189,05	1.189,05	0,00	0,00	0,000	0,000
6. Sonstige	**NA**	**NA**				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	204,70	206,19	1,49	0,73	0,000	0,000
Internationaler Flugverkehr	112,65	114,14	1,49	1,32	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	92,05	92,05	0,00	0,00	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	**IE,NE**	**IE,NE**				
Indirektes N_2O	**NO,IE**	**NE,IE**				

Tabelle 530: revidierte HFC-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2023	Submission 2023	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**

Tabelle 531: revidierte PFC-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2023	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**3.060,23**	**3.060,23**	**0,00**	**0,000**	**0,000**	**0,000**

Tabelle 532: revidierte SF_6-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**4.428,00**	**4.428,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**	**0,000**

Tabelle 533: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	**5.850,00**	**5.850,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**	**0,000**

Tabelle 534: revidierte NF_3-Emissionen 1990 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	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**

19.4.2 Überblick für das Berichtsjahr 2020

Tabelle 535: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung	Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen		
				ohne LULUCF		*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**624.730,54**	**643.741,66**	**19.011,12**	**3,04**	**2,606**	**2,593**
1. Energie	**594.884,82**	**602.585,74**	**7.700,92**	**1,29**	1,056	1,050
A. Verbrennung von Energieträgern	593.069,88	600.779,46	7.709,58	1,30	1,057	1,052
1. Energieerzeugung	208.312,43	208.824,61	512,18	0,25	0,070	0,070
2. Verarbeitendes Gewerbe	115.336,65	119.509,43	4.172,78	3,62	0,572	0,569
3. Verkehr	145.263,81	144.567,77	-696,05	-0,48	-0,095	-0,095
4. Übrige Sektoren	123.413,66	127.134,90	3.721,24	3,02	0,510	0,508
5. Sonstige	743,34	742,76	-0,58	-0,08	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1.814,93	1.806,28	-8,66	-0,48	-0,001	-0,001
1. Festbrennstoffe	629,55	631,77	2,22	0,35	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	1.185,39	1.174,51	-10,88	-0,92	-0,001	-0,001
C. Transport und Lagerung von CO_2	NA	NA				
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**41.886,59**	**42.038,09**	**151,50**	**0,36**	**0,021**	**0,021**
A. Mineralische Industrie	19.043,42	19.201,70	158,28	0,83	0,022	0,022
B. Chemische Industrie	5.291,40	5.380,59	89,19	1,69	0,012	0,012
C. Metallerzeugung	15.625,10	15.528,69	-96,41	-0,62	-0,013	-0,013
D. nichtenerg. Brennstoffnutzg. & Lösemitteleinsatz	1.926,68	1.927,12	0,44	0,02	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	**2.609,60**	**2.628,50**	**18,90**	**0,72**	**0,003**	**0,003**
G. Kalkung	1.963,28	2.009,78	46,50	2,37	0,006	0,006
H. Harnstoffeinsatz	456,65	433,27	-23,38	-5,12	-0,003	-0,003
I. Sonstige C-haltige Dünger	189,68	185,46	-4,22	-2,22	-0,001	-0,001
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**-14.650,47**	**-3.510,67**	**11.139,80**	**-76,04**		**1,519**
A. Forste / Wälder	-46.252,00	-39.243,83	7.008,17	-15,15		0,956
B. Ackerland	16.656,04	15.238,27	-1.417,77	-8,51		-0,193
C. Grasland	18.068,74	24.470,65	6.401,91	35,43		0,873
D. Feuchtgebiete	4.452,15	4.329,29	-122,86	-2,76		-0,017
E. Siedlungen	1.075,87	346,22	-729,64	-67,82		-0,100
G. Holzernteprodukte	-8.651,28	-8.651,28	0,00	0,00		0,000
5. Abfall & Abwasser	**NO,NE,NA**	**NO,NE,NA**				
6. Sonstige	**NO**	**NA**				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**17.220,91**	**17.209,51**	**-11,40**	**-0,07**	**-0,002**	**-0,002**
Internationaler Flugverkehr	13.622,91	13.691,24	68,32	0,50	0,009	0,009
Internationaler Seeverkehr	3.598,00	3.518,27	-79,73	-2,22	-0,011	-0,011
Multilaterale Operationen	IE,NE	IE,NE				
CO_2 aus Biomasse	107.259,95	106.438,90	-821,05	-0,77	-0,113	-0,112
aufgefangenes CO_2	**NO**	**NO**				
Langzeit-C-Speicherung in Mülldeponien	**NA**	**NA**				
Indirektes CO_2	**NO,NE,IE**	**NO,NE,IE**				

Tabelle 536: revidierte Methan-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung	Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen		
				ohne LULUCF		*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	**50.888,63**	**47.868,60**	**-3.020,03**	**-5,93**	**-0,414**	**-0,412**
1. Energie	8.803,55	5.933,66	-2.869,89	-32,60	-0,393	-0,391
A. Verbrennung von Energieträgern	3.884,36	3.992,50	108,14	2,78	0,015	0,015
1. Energieerzeugung	2.355,68	2.457,82	102,14	4,34	0,014	0,014
2. Verarbeitendes Gewerbe	271,95	279,33	7,38	2,71	0,001	0,001
3. Verkehr	214,71	219,72	5,01	2,33	0,001	0,001
4. Übrige Sektoren	1.040,69	1.034,25	-6,43	-0,62	-0,001	-0,001
5. Sonstige	1,33	1,38	0,05	3,75	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	4.919,18	1.941,16	-2.978,02	-60,54	-0,408	-0,406
1. Festbrennstoffe	136,68	136,77	0,09	0,06	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	4.782,50	1.804,39	-2.978,11	-62,27	-0,408	-0,406
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**592,21**	**592,25**	**0,03**	**0,01**	**0,000**	**0,000**
B. Chemische Industrie	562,90	562,90	0,00	0,00	0,000	0,000
C. Metallerzeugung	5,98	5,99	0,01	0,21	0,000	0,000
G. Übrige Produktanwendung	23,33	23,35	0,02	0,08	0,000	0,000

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
		[kt CO_2-Äquivalente]			*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
3. Landwirtschaft	**31.651,05**	**31.635,00**	**-16,05**	**-0,05**	**-0,002**	**-0,002**
A. Verdauung	23.867,42	23.846,96	-20,47	-0,09	-0,003	-0,003
B. Düngerwirtschaft	6.470,71	6.448,58	-22,13	-0,34	-0,003	-0,003
J. Übrige	1.312,93	1.339,47	26,55	2,02	0,004	0,004
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	**1.873,29**	**5.858,42**	**3.985,13**	**212,73**		**0,544**
A. Forste / Wälder	35,87	25,08	-10,79	-30,09		-0,001
B. Ackerland	125,81	85,22	-40,59	-32,26		-0,006
C. Grasland	962,64	831,60	-131,05	-13,61		-0,018
D. Feuchtgebiete	683,70	4.891,68	4.207,98	615,47		0,574
E. Siedlungen	65,27	24,85	-40,42	-61,93		-0,006
5. Abfall & Abwasser	**7.968,53**	**3.849,28**	**-4.119,25**	**-51,69**	**-0,565**	**-0,562**
A. Deponierung von festen Abfällen	6.769,63	2.654,55	-4.115,08	-60,79	-0,564	-0,561
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	713,72	709,57	-4,15	-0,58	-0,001	-0,001
C. Müllverbrennung	482,76	482,76	0,00	0,00	0,000	0,000
E. Sonstige	2,43	2,40	-0,03	-1,04	0,000	0,000
6. Sonstige	**NO**	**NA**				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**2,65**	**2,55**	**-0,10**	**-3,61**	**0,000**	**0,000**
Internationaler Flugverkehr	1,76	1,64	-0,12	-6,62	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	0,89	0,91	0,02	2,34	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	IE,NE	IE,NE				

Tabelle 537: revidierte Lachgas-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
		[kt CO_2-Äquivalente]			*ohne LULUCF* [%]	*mit LULUCF*
Nationale Gesamtemissionen	**29.694,28**	**29.314,69**	**-379,59**	**-1,28**	**-0,052**	**-0,052**
1. Energie	4.711,05	4.608,35	-102,70	-2,18	-0,014	-0,014
A. Verbrennung von Energieträgern	4.710,11	4.607,41	-102,70	-2,18	-0,014	-0,014
1. Energieerzeugung	1.807,39	1.790,08	-17,31	-0,96	-0,002	-0,002
2. Verarbeitendes Gewerbe	779,73	827,09	47,37	6,08	0,006	0,006
3. Verkehr	1.672,96	1.533,30	-139,66	-8,35	-0,019	-0,019
4. Übrige Sektoren	446,85	453,65	6,80	1,52	0,001	0,001
5. Sonstige	3,18	3,28	0,10	3,19	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	0,94	0,94	0,00	0,31	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	0,94	0,94	0,00	0,31	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	**834,75**	**834,75**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
3. Landwirtschaft	**21.834,42**	**21.919,50**	**85,08**	**0,39**	**0,012**	**0,012**
B. Düngerwirtschaft	2.908,44	2.756,52	-151,92	-5,22	-0,021	-0,021
D. Landwirtschaftliche Böden	18.673,22	18.907,30	234,08	1,25	0,032	0,032
J. Übrige	252,76	255,69	2,92	1,16	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänderung, Forstw.	**1.512,14**	**1.288,80**	**-223,34**	**-14,77**		**-0,030**
A. Forste / Wälder	372,55	470,22	97,67	26,22		0,013
B. Ackerland	527,05	372,66	-154,39	-29,29		-0,021
C. Grasland	105,12	42,38	-62,74	-59,69		-0,009
D. Feuchtgebiete	42,36	42,63	0,27	0,63		0,000
E. Siedlungen	133,92	107,75	-26,17	-19,54		-0,004
H. Sonstige	162,23	120,00	-42,23	-26,03		-0,006
5. Abfall & Abwasser	**801,92**	**663,28**	**-138,64**	**-17,29**	**-0,019**	**-0,019**
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	309,87	208,06	-101,81	-32,86	-0,014	-0,014
D. Abwasserbehandlung	458,48	422,00	-36,48	-7,96	-0,005	-0,005
E. Sonstige	33,57	33,22	-0,35	-1,04	0,000	0,000
6. Sonstige	**NO**	**NA**				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	**176,23**	**176,94**	**0,72**	**0,41**	**0,000**	**0,000**
Internationaler Flugverkehr	128,46	129,18	0,72	0,56	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	47,77	47,77	0,00	0,00	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	**NE**	**NE**				
Indirektes N_2O	**NO,IE**	**NE,IE**				

Tabelle 538: revidierte HFC-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**8.792,42**	**8.840,96**	**48,54**	**0,55**	**0,007**	**0,007**
2.C.4. Magnesiumproduktion	8,26	8,26	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	14,05	14,05	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.1. Kälte- und Klimaanlagen	7.985,23	7.968,02	-17,21	-0,22	-0,002	-0,002
2.F.2. Schaumherstellung	324,10	389,93	65,83	20,31	0,009	0,009
2.F.3. Feuerlöschmittel	104,68	104,68	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.4. Aerosole	341,86	341,86	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.5. Lösemittel	IE	IE				
2.G.4. Andere	14,24	14,15	-0,09	-0,62	0,000	0,000

Tabelle 539: revidierte PFC-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**207,25**	**207,14**	**-0,11**	**-0,05**	**0,000**	**0,000**
2.C.3. Aluminiumproduktion	76,70	76,70	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	126,60	126,60	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.1. Kälte- und Klimaanlagen	3,95	3,84	-0,11	-2,74	0,000	0,000

Tabelle 540: revidierte SF_6-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**3.008,03**	**3.008,03**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	0,89	0,89	0,00	0,00	0,000	0,000
2.C.4. Magnesiumproduktion	51,56	51,56	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	27,18	27,18	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.1. Elektrische Betriebsmittel	218,86	218,86	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.2. SF_6 und FKW aus sonst.Produktverw.	2.709,54	2.709,54	0,00	0,00	0,000	0,000

Tabelle 541: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**140,66**	**139,91**	**-0,74**	**-0,529**	**0,000**	**0,000**
2.B.9. Produktion von FKW & SF_6	44,70	44,70	0,00	0,000	0,000	0,000
2.H. Other	95,95	95,21	-0,74	-0,776	0,000	0,000

Tabelle 542: revidierte NF_3-Emissionen für 2020 (GWP IPCC AR 4)

	Submission 2022	Submission 2023	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	*mit LULUCF*
	[kt CO_2-Äquivalente]			[%]		
Nationale Gesamtemissionen	**10,80**	**10,80**	**0,00**	**0,00**	**0,000**	**0,000**
2.E.1. Elektronik-Industrie	10,80	10,80	0,00	0,00	0,000	0,000

20 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, 2006a) in den Tabelle 543 und Tabelle 544 dargestellt.

Tabelle 543: Unsicherheiten nach Kategorien (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**	**1.290.897,4**	**764.356,4**			**3,22**						**3,63**
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	CO2	338.451,16	207.344,83	3,43	1,29	3,67	0,77	0,00	0,16	0,79	0,30	0,72
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	CH4	192,83	2.579,15	7,86	53,82	54,39	0,03	0,00	0,00	0,02	0,15	0,02
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	N2O	2.140,86	1.590,75	3,17	18,77	19,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
1 A 1 b, Petroleum Refining	CO2	24.102,60	19.983,95	2,74	4,29	5,09	0,01	0,00	0,02	0,06	0,10	0,01
1 A 1 b, Petroleum Refining	CH4	17,99	14,61	2,24	17,37	17,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 1 b, Petroleum Refining	N2O	89,27	48,01	2,65	31,62	31,73	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	8.645,46	4,60	3,36	5,69	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	CH4	103,02	139,83	22,87	114,33	116,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	N2O	586,23	114,02	5,73	22,65	23,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 a, Iron and steel	CO2	35.269,33	37.835,23	4,61	3,28	5,65	0,06	0,01	0,03	0,19	0,14	0,06
1 A 2 a, Iron and steel	CH4	69,95	78,31	8,06	23,95	25,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 a, Iron and steel	N2O	137,93	101,52	4,85	35,48	35,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	CO2	1.629,22	1.444,70	11,05	0,94	11,09	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	CH4	1,55	1,79	11,16	69,68	70,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	N2O	15,25	6,68	10,25	64,12	64,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	CO2	3,65	10,78	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	0,73	2,69	3,96	42,43	42,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	N2O	2,50	9,18	3,96	50,63	50,78	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 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	CO2	2.015,91	230,96	5,76	1,31	5,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	CH4	5,02	0,19	7,12	45,12	45,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	N2O	21,92	1,75	5,47	55,39	55,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	CO2	18.507,38	12.149,78	3,69	0,90	3,79	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	CH4	56,31	16,32	3,36	23,47	23,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	N2O	182,53	98,74	2,86	27,63	27,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 g, Other	CO2	126.761,98	73.315,62	0,00	3,54	3,54	0,09	0,01	0,06	0,00	0,29	0,08
1 A 2 g, Other	CH4	148,81	237,51	3,11	30,28	30,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 2 g, Other	N2O	842,61	530,01	2,96	14,62	14,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	CO2	2.263,44	732,35	6,67	3,67	7,61	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	CH4	2,82	1,67	19,76	75,54	78,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	N2O	20,27	6,60	0,00	21,45	21,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 b, Road Transport	CO2	151.889,81	142.140,84	0,00	5,35	5,35	0,77	0,02	0,11	0,00	0,85	0,72
1 A 3 b, Road Transport	CH4	1.812,75	231,45	6,96	10,51	12,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 b, Road Transport	N2O	1.123,44	1.351,50	6,57	13,25	14,80	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
1 A 3 c, Railways	CO2	3.122,15	853,29	0,00	10,05	10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 3 c, Railways	CH4	19,72	0,33	8,67	29,29	30,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 c, Railways	N2O	6,81	1,89	8,84	65,66	66,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	CO2	2.993,44	1.449,85	25,24	2,07	25,33	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	CH4	2,17	5,61	5,61	133,58	133,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	N2O	18,56	10,84	12,54	98,82	99,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	CO2	1.083,27	836,22	2,75	0,92	2,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	CH4	5,95	4,59	2,75	68,73	68,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	N2O	12,88	6,44	2,87	47,88	47,97	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 4 a, Commercial/Institutional	CO2	64.110,78	33.306,72	0,00	8,29	8,29	0,10	0,00	0,03	0,00	0,31	0,10
1 A 4 a, Commercial/Institutional	CH4	1.637,12	97,22	15,58	106,10	107,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 a, Commercial/Institutional	N2O	131,10	91,96	6,96	75,05	75,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 b, Residential	CO2	128.635,75	82.296,47	0,00	9,14	9,14	0,76	0,01	0,06	0,00	0,84	0,71
1 A 4 b, Residential	CH4	2.782,86	991,02	14,60	136,28	137,06	0,02	0,00	0,00	0,02	0,15	0,02
1 A 4 b, Residential	N2O	683,71	256,39	9,86	88,90	89,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	CO2	10.172,11	6.082,93	0,00	12,88	12,88	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	CH4	270,25	190,19	7,97	50,35	50,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	N2O	54,15	60,34	13,24	93,86	94,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 5, Other: Military	CO2	11.764,62	980,27	0,00	5,35	5,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 5, Other: Military	CH4	312,95	2,00	4,38	46,78	46,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 5, Other: Military	N2O	54,14	4,00	3,65	99,01	99,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 1, Solid Fuels	CO2	1.832,80	634,18	0,00	35,96	35,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
1 B 1, Solid Fuels	CH4	28.619,85	159,47	0,00	23,92	23,92	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 a, Oil	CO2	477,63	406,35	0,00	24,92	24,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 B 2 a, Oil	CH4	270,87	22,05	0,00	16,18	16,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 a, Oil	N2O	0,28	0,22	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	986,70	492,29	0,00	22,31	22,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 B 2 b, Natural Gas	CH4	9.788,56	1.811,35	0,00	23,47	23,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
1 B 2 c, Venting and Flaring	CO2	543,52	298,20	0,00	145,68	145,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
1 B 2 c, Venting and Flaring	CH4	1,85	0,59	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	1,74	0,60	0,00	68,06	68,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 A 1, Cement Production	CO2	15.297,27	13.640,22	2,50	1,00	2,69	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00
2 A 2, Lime Production	CO2	5.986,62	4.524,94	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	916,91	3,13	11,48	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates	CO2	1.458,01	816,37	6,68	10,93	12,81	0,00	0,00	0,00	0,01	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**	**%**	**%**	**%**		**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
2 B 1, Ammonia Production	CO2	6.025,00	4.012,00	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	2.896,77	344,34	0,55	2,09	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 3, Adipic Acid Production	N2O	16.074,90	66,27	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	5,88	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	615,50	457,81	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	861,57	11,17	13,97	17,89	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CH4	373,73	569,98	15,69	15,19	21,84	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	164,50	0,95	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
2 B 10, Other Chemical Industry	CH4	66,65	65,04	0,00	38,73	38,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 10, Other Chemical Industry	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	16.418,95	0,00	9,35	9,35	0,03	0,00	0,01	0,00	0,17	0,03
2 C 1, Iron and Steel Production	CH4	5,22	5,52	0,00	68,50	68,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 1, Iron and Steel Production	N2O	23,60	11,92	8,46	70,39	70,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 2, Ferroalloys Production	CO2	429,00	5,97	50,00	7,00	50,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 2, Ferroalloys Production	CH4	9,61	1,82	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	696,07	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	1.385,67	49,04	0,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	C2F6	233,10	9,93	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	7,51	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	64,37	5,53	39,47	39,86	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 C 6, Zinc Production	CO2	670,80	289,16	0,00	42,51	42,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 D 1, Lubricant Use	CO2	188,63	198,33	0,00	17,72	17,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 D 2, Paraffin Wax Use	CO2	242,70	502,29	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	0,62	1,28	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	1.328,78	0,00	9,21	9,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 E, Electronics Industry	SF6	48,73	33,28	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	NF3	4,95	13,72	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	HFC-23	14,34	12,34	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	0,04	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	CF4	92,06	64,81	0,00	13,90	13,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C2F6	147,83	43,89	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	14,14	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	5,79	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C6F14	21,57	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	13,62	63,25	0,00	17,19	17,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-32	0,76	244,39	0,00	7,68	7,68	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	135,75	1.874,60	0,00	6,45	6,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-134a	2.062,03	4.216,88	0,00	5,64	5,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-143a	76,60	1.233,25	0,00	10,62	10,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-152a	100,24	23,55	0,00	4,41	4,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-227ea	0,67	81,41	0,00	3,68	3,68	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	9,35	9,35	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	8,97	8,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C2F6	0,00	2,43	0,00	21,33	21,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C3F8	20,07	0,91	0,00	19,09	19,09	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	5,07	23,71	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	43,77	43,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	SF6	C	C	0,00	9,03	9,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-134a	0,00	0,18	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	13,29	0,00	21,01	21,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-365mfc	0,00	0,71	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	24,91	24,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 A, Enteric Fermentation	CH4	19.844,44	15.114,31	4,00	20,00	20,40	0,13	0,00	0,01	0,07	0,34	0,12
3 A, Enteric Fermentation	CH4	15.699,01	9.814,70	2,16	10,82	11,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,12	0,01
3 A, Enteric Fermentation	CH4	1.597,65	1.212,25	3,56	12,51	13,01	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	2.468,76	2.494,33	4,00	20,00	20,40	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00
3 B, Manure Management	CH4	2.683,77	1.548,32	2,24	11,20	11,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
3 B, Manure Management	CH4	3.426,57	2.621,87	3,26	16,29	16,62	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
3 B, Manure Management	CH4	169,02	219,12	4,70	10,35	11,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 B, Manure Management	N2O	849,94	623,56	4,00	100,00	100,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
3 B, Manure Management	N2O	874,03	625,75	2,07	51,82	51,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
3 B, Manure Management	N2O	356,42	286,02	3,10	77,39	77,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
3 B, Manure Management	N2O	112,84	120,76	4,99	49,90	50,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
3 B, Manure Management	N2O	1.017,94	716,42	39,99	399,94	401,93	0,11	0,00	0,00	0,03	0,32	0,10
3 D, Agricultural Soils	N2O	20.339,18	16.619,88	32,08	70,57	77,52	2,22	0,00	0,01	0,60	1,31	2,07
3 G, Liming	CO2	2.200,53	2.006,37	3,95	2,92	4,91	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
3 H, Urea Application	CO2	481,05	399,48	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	182,16	3,00	3,00	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 J, Other	CH4	0,31	1.500,21	10,00	20,00	22,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00
3 J, Other	N2O	0,11	227,37	9,52	97,10	97,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
4 A, Forest Land	CO2	-18.696,50	-41.870,91	0,00	8,08	8,08	0,15	0,01	0,04	0,00	0,45	0,20
4 A, Forest Land	CH4	34,39	26,65	0,00	97,35	97,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 A, Forest Land	N2O	461,78	435,50	0,00	86,82	86,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
4 B, Cropland	CO2	14.722,32	15.556,89	0,00	22,39	22,39	0,16	0,00	0,01	0,00	0,41	0,17
4 B, Cropland	CH4	109,46	94,96	0,00	62,99	62,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
4 B, Cropland	N2O	208,34	396,84	0,00	157,92	157,92	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
4 C, Grassland	CO2	29.121,21	25.045,89	0,00	50,49	50,49	2,13	0,01	0,03	0,00	2,31	5,36
4 C, Grassland	CH4	841,64	919,32	0,00	376,32	376,32	0,16	0,00	0,00	0,00	0,39	0,15
4 C, Grassland	N2O	62,15	36,68	0,00	64,26	64,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 D, Wetlands	CO2	3.692,17	4.713,81	0,00	29,26	29,26	0,03	0,00	0,00	0,00	0,17	0,03
4 D, Wetlands	CH4	5.325,87	5.498,00	0,00	67,39	67,39	0,18	0,00	0,00	0,00	0,41	0,17
4 D, Wetlands	N2O	30,18	39,01	0,00	167,86	167,86	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	1.251,39	1.472,89	0,00	16,62	16,62	0,00	0,00	0,01	0,00	0,15	0,02
4 E, Settlements	CH4	18,82	28,40	0,00	52,35	52,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 E, Settlements	N2O	122,73	255,78	0,00	118,34	118,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
4 G, Harvested Wood Products	CO2	-1.330,35	-8.651,28	0,00	29,85	29,85	0,09	0,01	0,01	0,00	0,31	0,10
5 A, Solid Waste Disposal	CH4	37.191,25	2.574,15	0,00	20,00	20,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00
5 B, Biological Treatment of Solid Waste	CH4	59,39	791,04	1,42	157,26	157,26	0,02	0,00	0,00	0,00	0,14	0,02
5 B, Biological Treatment of Solid Waste	N2O	19,67	184,34	1,47	103,42	103,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
5 D 1, Domestic Wastewater	CH4	2.870,84	486,96	3,15	23,98	24,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
5 D 1, Domestic Wastewater	N2O	1.029,29	348,22	31,85	3.726,56	3.726,70	2,25	0,00	0,00	0,01	1,45	2,10
5 D 2, Industrial Wastewater	CH4	10,36	53,83	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 D 2, Industrial Wastewater	N2O	28,09	23,84	50,00	310,00	314,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
5 E, Other	CH4	0,00	2,64	2,00	20,00	20,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 E, Other	N2O	0,00	29,02	2,00	20,00	20,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 544: 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 2021**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2021**		**Inventory trend in nationalemissions for 2021 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
Sum		**THG**	**1.290.897,43**	**764.356,41**					**2,93**	**3,26**		**-40,79**	**10,20**	**10,89**
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO2	338.451,16	207.344,83	7,28	7,54	2,46	2,46	3,61	3,68	0,10	-38,74	12,50	13,13
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH4	192,83	2.579,15	26,45	41,72	47,41	112,58	28,54	38,30	0,00	1.237,54	47,39	63,81
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N2O	2.140,86	1.590,75	24,62	23,33	50,15	44,99	21,81	22,06	0,00	-25,70	203,48	282,06
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO2	24.102,60	19.983,95	10,71	11,33	9,29	10,54	4,96	5,11	0,00	-17,09	51,35	54,05
1 A 1 b, Petroleum Refining		CH4	17,99	14,61	45,66	56,35	27,67	43,44	18,74	18,87	0,00	-18,82	133,70	163,40
1 A 1 b, Petroleum Refining		N2O	89,27	48,01	61,71	53,32	34,60	36,03	35,04	35,12	0,00	-46,22	258,70	361,63
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO2	65.289,06	8.645,46	10,86	11,54	11,04	11,51	5,54	5,79	0,00	-86,76	2,09	2,16
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH4	103,02	139,83	31,46	41,51	59,29	127,30	50,07	85,83	0,00	35,73	854.943,30	1.567.876,01
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N2O	586,23	114,02	16,03	18,08	49,51	62,51	26,83	27,58	0,00	-80,55	17,87	22,02
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO2	35.269,33	37.835,23	13,47	14,94	10,29	10,86	5,33	5,70	0,01	7,28	53,70	56,95
1 A 2 a, Iron and steel		CH4	69,95	78,31	12,18	11,32	30,77	34,20	24,29	24,61	0,00	11,96	227,80	313,40
1 A 2 a, Iron and steel		N2O	137,93	101,52	44,88	39,60	72,24	91,99	38,33	38,57	0,00	-26,39	2.482,48	3.907,34
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	1.629,22	1.444,70	9,67	10,39	1,34	1,32	8,31	8,86	0,00	-11,33	23,55	25,10
1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH4	1,55	1,79	18,66	13,36	69,42	77,06	69,71	71,66	0,00	15,60	1.200,22	2.533,66
1 A 2 b, Non-ferrous metals		N2O	15,25	6,68	31,72	19,84	57,06	53,30	64,45	66,51	0,00	-56,17	100,71	178,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO2	3,65	10,78	8,55	8,85	3,01	3,13	5,64	5,67	0,00	195,64	21,55	22,82
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH4	0,73	2,69	43,91	43,73	54,58	65,70	47,49	47,69	0,00	267,79	94,33	136,22
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N2O	2,50	9,18	10,77	11,19	10,28	11,83	6,88	7,26	0,00	267,79	15,51	16,50
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO2	2.015,91	230,96	11,24	12,84	3,30	3,59	4,21	4,34	0,00	-88,54	0,74	0,78
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH4	5,02	0,19	49,76	38,88	46,12	63,36	45,49	45,85	0,00	-96,27	5,09	7,98
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N2O	21,92	1,75	27,47	43,20	60,78	74,53	42,39	46,71	0,00	-92,01	7,39	13,77
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	18.507,38	12.149,78	12,50	14,32	1,88	1,95	2,92	3,01	0,00	-34,35	8,67	8,89
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH4	56,31	16,32	45,85	54,86	36,68	42,54	27,11	27,34	0,00	-71,03	162,08	217,26
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N2O	182,53	98,74	31,86	45,24	29,99	39,80	21,66	22,42	0,00	-45,91	68,42	105,34
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO2	126.761,98	73.315,62	15,05	16,84	3,77	4,04	2,83	2,94	0,01	-42,16	20,08	20,69
1 A 2 g, Other		CH4	148,81	237,51	41,03	51,54	66,67	159,05	18,34	22,43	0,00	59,60	72,86	90,87
1 A 2 g, Other		N2O	842,61	530,01	40,93	48,78	31,44	30,03	13,01	13,24	0,00	-37,10	176,27	198,67

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 2021**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2021**		**Inventory trend in nationalemissions for 2021 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	2.263,44	732,35	12,10	12,50	4,79	5,09	7,51	7,69	0,00	-67,64	5,14	5,56
1 A 3 a, Domestic Aviation		CH4	2,82	1,67	25,05	10,61	62,77	259,48	48,96	77,54	0,00	-40,62	297,17	563,85
1 A 3 a, Domestic Aviation		N2O	20,27	6,60	16,33	19,11	20,79	21,99	21,13	21,78	0,00	-67,43	13,72	17,15
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	151.889,81	142.140,84	25,16	35,27	4,25	5,31	4,61	4,93	0,08	-6,42	46,66	48,46
1 A 3 b, Road Transport		CH4	1.812,75	231,45	32,63	61,68	29,69	39,91	9,90	11,67	0,00	-87,23	6,98	7,99
1 A 3 b, Road Transport		N2O	1.123,44	1.351,50	35,19	54,54	28,34	50,41	11,86	13,76	0,00	20,30	151,19	171,62
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO2	3.122,15	853,29	10,43	10,32	3,20	3,21	10,01	10,02	0,00	-72,67	7,11	7,89
1 A 3 c, Railways		CH4	19,72	0,33	13,28	12,77	53,57	92,82	30,08	30,95	0,00	-98,34	1,01	1,32
1 A 3 c, Railways		N2O	6,81	1,89	14,92	13,92	39,70	64,30	38,10	55,68	0,00	-72,29	30,99	50,14
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO2	2.993,44	1.449,85	24,29	45,39	3,14	4,55	25,49	25,46	0,00	-51,57	59,69	90,89
1 A 3 d, Domestic Navigation		CH4	2,17	5,61	68,61	163,67	81,39	195,73	66,94	157,71	0,00	158,14	99,79	246,38
1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	18,56	10,84	11,82	14,46	48,23	75,31	33,02	43,78	0,00	-41,61	166,35	247,88
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	1.083,27	836,22	1,23	1,79	1,09	1,09	1,47	1,74	0,00	-22,81	3,44	3,62
1 A 3 e, Other Transportation		CH4	5,95	4,59	8,24	5,65	43,30	66,85	38,91	57,31	0,00	-22,96	89,83	141,73
1 A 3 e, Other Transportation		N2O	12,88	6,44	5,64	3,67	51,82	51,89	47,84	47,60	0,00	-50,03	42,77	68,90
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO2	64.110,78	33.306,72	10,00	10,95	1,39	1,38	5,71	5,88	0,01	-48,05	14,00	15,20
1 A 4 a, Commercial/Institutional		CH4	1.637,12	97,22	41,26	47,74	46,88	103,81	35,87	52,83	0,00	-94,06	39,74	76,15
1 A 4 a, Commercial/Institutional		N2O	131,10	91,96	38,29	46,14	37,96	55,86	30,12	35,19	0,00	-29,86	67,94	91,51
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO2	128.635,75	82.296,47	9,88	10,65	1,40	1,50	6,06	6,30	0,05	-36,02	15,55	16,97
1 A 4 b, Residential		CH4	2.782,86	991,02	19,92	21,49	45,70	68,66	40,65	58,04	0,00	-64,39	7.051,05	11.289,30
1 A 4 b, Residential		N2O	683,71	256,39	32,38	49,39	54,63	74,68	34,48	41,61	0,00	-62,50	75,00	106,42
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO2	10.172,11	6.082,93	27,06	27,64	7,89	7,31	12,95	12,84	0,00	-40,20	61,45	66,52
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH4	270,25	190,19	23,27	26,06	46,69	81,61	29,64	40,99	0,00	-29,62	69,50	100,52
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N2O	54,15	60,34	32,82	34,49	47,11	76,30	29,65	40,72	0,00	11,43	186,56	268,22
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO2	11.764,62	980,27	7,25	8,16	1,52	1,55	3,71	3,83	0,00	-91,67	1,53	1,60
1 A 5, Other: Military		CH4	312,95	2,00	18,25	40,45	59,94	85,72	46,40	46,32	0,00	-99,36	8,00	11,50
1 A 5, Other: Military		N2O	54,14	4,00	27,53	29,24	72,01	200,06	46,30	92,05	0,00	-92,61	12,02	22,99
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	1.832,80	634,18	2,99	2,98	24,85	30,88	31,56	31,96	0,00	-65,40	90,99	130,09
1 B 1, Solid Fuels		CH4	28.619,85	159,47	25,52	24,05	33,69	41,27	25,71	25,94	0,00	-99,44	1,33	2,22
1 B 2 a, Oil		CO2	477,63	406,35	35,86	48,38	30,37	30,99	26,01	28,48	0,00	-14,92	362,79	482,83
1 B 2 a, Oil		CH4	270,87	22,05	10,98	11,10	21,27	21,33	16,17	17,16	0,00	-91,86	3,38	3,90
1 B 2 a, Oil		N2O	0,28	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	29,88	30,13	0,00	-21,41	319,41	438,11
1 B 2 b, Natural Gas		CO2	986,70	492,29	0,00	0,00	0,00	0,00	22,28	22,34	0,00	-50,11	22,13	28,91
1 B 2 b, Natural Gas		CH4	9.788,56	1.811,35	24,96	31,47	58,31	80,14	18,84	21,93	0,00	-81,50	1,73	2,07

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 2021**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2021**		**Inventory trend in nationalemissions for 2021 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	298,20	3,01	2,99	10,05	9,97	16,24	16,35	0,00	-45,14	49,55	58,81
1 B 2 c, Venting and Flaring		CH4	1,85	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	19,29	19,12	0,00	-67,78	30,19	39,45
1 B 2 c, Venting and Flaring		N2O	1,74	0,60	3,01	2,99	24,98	25,03	67,68	67,79	0,00	-65,44	98,01	156,95
2 A 1, Cement Production		CO2	15.297,27	13.640,22	2,52	2,50	1,00	1,00	2,71	2,71	0,00	-10,83	26,71	27,32
2 A 2, Lime Production		CO2	5.986,62	4.524,94	2,69	2,68	7,33	5,90	7,16	6,14	0,00	-24,42	26,34	28,32
2 A 3, Glass Production		CO2	780,48	916,91	7,38	8,54	25,65	29,83	11,66	11,82	0,00	17,48	367,15	409,19
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO2	1.458,01	816,37	11,55	11,34	9,62	10,63	12,40	12,55	0,00	-44,01	14,39	17,57
2 B 1, Ammonia Production		CO2	6.025,00	4.012,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01	1,00	0,00	-33,41	2,28	2,29
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	2.896,77	344,34	1,70	1,72	3,45	3,72	2,16	2,19	0,00	-88,11	0,41	0,43
2 B 3, Adipic Acid Production		N2O	16.074,90	66,27	2,02	2,01	6,00	6,05	6,33	6,43	0,00	-99,59	0,03	0,03
2 B 5, Carbide Production		CO2	443,16	5,88	9,93	9,94	10,01	9,99	13,75	14,40	0,00	-98,67	5,50	6,43
2 B 7, Soda Ash Production		CO2	615,50	457,81	0,00	0,00	0,00	0,00	2,52	2,51	0,00	-25,62	43,14	43,93
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO2	973,97	861,57	46,09	58,15	22,07	22,77	17,45	18,37	0,00	-11,54	3.017,71	3.678,12
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH4	373,73	569,98	25,32	26,32	14,18	15,22	19,33	20,16	0,00	52,51	147,76	180,91
2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	2,98	0,00	-99,96	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF6	164,50	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	2,98	2,97	0,00	-99,42	0,02	0,02
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-134a	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99	2,98	0,00	-45,74	4,98	5,07
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-227ea	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99	3,03	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 Chemical Industry		CH4	66,65	65,04	0,00	0,00	0,00	0,00	38,71	38,78	0,00	-2,42	2.772,56	4.267,84
2 B 10, Other Chemical Industry		N2O	C	C	20,05	20,13	62,64	62,72	63,57	68,20	0,00	0,00	557,42	1.242,05
2 C 1, Iron and Steel Production		CO2	22.810,29	16.418,95	20,64	22,95	8,50	8,58	9,22	9,57	0,00	-28,02	69,29	75,71
2 C 1, Iron and Steel Production		CH4	5,22	5,52	1,01	0,99	77,41	78,88	68,02	67,69	0,00	5,60	262,46	473,11
2 C 1, Iron and Steel Production		N2O	23,60	11,92	19,72	13,35	71,29	75,80	70,55	72,76	0,00	-49,49	2.651,77	6.304,50
2 C 2, Ferroalloys Production		CO2	429,00	5,97	50,09	50,02	7,02	6,91	50,33	51,08	0,00	-98,61	149,47	263,13
2 C 2, Ferroalloys Production		CH4	9,61	1,82	50,10	50,04	49,42	50,33	62,27	80,54	0,00	-81,04	252,46	560,57
2 C 3, Aluminium Production		CO2	1.011,92	696,07	0,98	1,00	50,05	50,00	50,03	50,13	0,00	-31,21	3.855,08	6.520,09
2 C 3, Aluminium Production		SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	10,07	10,75	0,00	-76,60	4,30	4,75
2 C 3, Aluminium Production		CF4	1.385,67	49,04	0,00	0,00	0,00	0,00	14,96	14,84	0,00	-96,46	0,73	0,85
2 C 3, Aluminium Production		C2F6	233,10	9,93	0,00	0,00	0,00	0,00	15,03	15,08	0,00	-95,74	0,88	1,02
2 C 4, Magnesium Production		SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	17,23	10,90	0,00	-73,15	7,91	9,44
2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	0,00	7,51	0,00	0,00	0,00	0,00	20,56	12,94	0,00		0,00	0,00
2 C 5, Lead Production		CO2	157,87	64,37	22,44	18,39	38,08	46,92	39,92	39,73	0,00	-59,22	62,54	90,15
2 C 6, Zinc Production		CO2	670,80	289,16	0,00	0,00	0,00	0,00	42,46	42,55	0,00	-56,89	48,30	75,97

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 2021**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2021**		**Inventory trend in nationalemissions for 2021 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
2 D 1, Lubricant Use		CO2	188,63	198,33	24,89	25,07	9,98	9,99	17,35	18,38	0,00	5,14	235,33	285,04
2 D 2, Paraffin Wax Use		CO2	242,70	502,29	0,00	0,00	0,00	0,00	70,66	70,34	0,00	106,95	151,32	295,30
2 D 2, Paraffin Wax Use		N2O	0,62	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	60,31	60,25	0,00	106,95	356,44	1.853,50
2 D 3, Other		CO2	2.551,10	1.328,78	19,80	20,00	9,96	10,02	9,09	9,26	0,00	-47,91	22,60	24,66
2 E, Electronics Industry		SF6	48,73	33,28	0,00	0,00	0,00	0,00	7,02	7,41	0,00	-31,72	21,07	22,84
2 E, Electronics Industry		NF3	4,95	13,72	0,00	0,00	0,00	0,00	6,96	7,40	0,00	177,04	15,39	16,47
2 E, Electronics Industry		HFC-23	14,34	12,34	0,00	0,00	0,00	0,00	7,02	7,32	0,00	-13,95	61,51	65,66
2 E, Electronics Industry		HFC-32	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	6,95	7,43	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry		CF4	92,06	64,81	0,00	0,00	0,00	0,00	6,43	6,73	0,00	-29,60	21,52	22,95
2 E, Electronics Industry		C2F6	147,83	43,89	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	7,39	0,00	-70,31	4,12	4,46
2 E, Electronics Industry		C3F8	0,00	14,14	0,00	0,00	0,00	0,00	7,07	7,43	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry		c-C4F8	0,00	5,79	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	7,37	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry		C6F14	21,57	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	13,62	63,25	0,00	0,00	0,00	0,00	17,20	17,25	0,00	364,49	28,03	33,86
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	0,76	244,39	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	7,64	0,00	32.133,17	13,44	15,73
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98	2,00	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-125	135,75	1.874,60	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	6,46	0,00	1.280,96	17,02	21,22
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-134a	2.062,03	4.216,88	0,00	0,00	0,00	0,00	5,63	5,57	0,00	104,50	19,21	21,25
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-143a	76,60	1.233,25	0,00	0,00	0,00	0,00	10,63	10,53	0,00	1.510,09	15,08	16,82
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	100,24	23,55	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38	4,34	0,00	-76,51	3,76	4,45
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	0,67	81,41	0,00	0,00	0,00	0,00	3,67	3,67	0,00	12.001,49	17,84	24,03
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-236fa	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	9,90	10,02	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	9,38	9,28	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	8,84	8,92	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C2F6	0,00	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	21,42	21,36	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C3F8	20,07	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	18,99	18,97	0,00	-95,48	1,30	1,73
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C6F14	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	19,91	19,86	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		CH4	5,07	23,71	19,95	19,82	19,97	20,01	26,82	29,75	0,00	367,41	73,04	98,01
2 G, Other Product Manufacture and Use		N2O	C	C	89,04	110,17	44,55	71,88	43,43	43,64	0,00	-88,94	9,27	15,89
2 G, Other Product Manufacture and Use		SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	9,05	9,01	0,00	-60,80	32,17	33,83
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-134a	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	22,41	22,46	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-245fa	0,00	13,29	0,00	0,00	0,00	0,00	21,10	20,99	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-365mfc	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	22,38	22,19	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use		C10F18	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	25,08	25,02	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 2021**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2021**		**Inventory trend in nationalemissions for 2021 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	19.844,44	15.114,31	3,99	4,00	20,14	20,01	20,37	20,45	0,02	-23,84	174,85	218,25
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	15.699,01	9.814,70	11,45	11,85	13,21	14,29	10,97	11,09	0,00	-37,48	40,03	45,10
3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH4	1.597,65	1.212,25	16,71	17,31	34,25	44,02	12,90	13,18	0,00	-24,12	91,37	106,79
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	2.468,76	2.494,33	4,01	3,96	19,88	19,99	20,27	20,60	0,00	1,04	304,83	372,88
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	2.683,77	1.548,32	10,11	10,73	18,00	20,39	11,48	11,47	0,00	-42,31	34,36	38,53
3 B, Manure Management	swine	CH4	3.426,57	2.621,87	7,19	6,77	20,89	22,05	16,55	16,70	0,00	-23,48	278,30	330,70
3 B, Manure Management	other animals	CH4	169,02	219,12	14,60	16,02	49,30	59,82	11,21	11,51	0,00	29,64	75,84	88,55
3 B, Manure Management	dairy cows	N2O	849,94	623,56	4,01	3,96	56,96	98,88	57,06	99,50	0,00	-26,64	1.672,57	3.576,68
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N2O	874,03	625,75	30,12	42,20	44,65	93,45	33,72	48,35	0,00	-28,41	258,58	392,83
3 B, Manure Management	swine	N2O	356,42	286,02	28,92	21,29	52,12	97,14	45,41	76,01	0,00	-19,75	1.291,42	2.336,87
3 B, Manure Management	other animals	N2O	112,84	120,76	45,87	59,91	77,28	171,61	32,72	47,48	0,00	7,02	1.266,37	1.928,30
3 B, Manure Management	deposition and leaching	N2O	1.017,94	716,42	40,02	40,58	94,91	397,09	95,25	405,26	0,01	-29,62	138,90	794,60
3 D, Agricultural Soils		N2O	20.339,18	16.619,88	78,76	161,30	75,88	329,51	35,78	81,62	0,20	-18,29	5.816,16	10.213,17
3 G, Liming		CO2	2.200,53	2.006,37	3,93	3,57	3,81	3,53	4,51	4,83	0,00	-8,82	41,78	33,21
3 H, Urea Application		CO2	481,05	399,48	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	1,41	0,00	-16,96	13,42	13,70
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	510,45	182,16	3,03	3,02	3,00	2,99	4,21	4,28	0,00	-64,31	5,15	5,38
3 J, Other		CH4	0,31	1.500,21	10,05	10,00	20,19	19,99	21,97	22,94	0,00	485.379,35	28,30	36,28
3 J, Other		N2O	0,11	227,37	95,17	383,34	60,27	104,40	56,15	98,11	0,00	205.276,50	70,59	150,43
4 A, Forest Land		CO2	-18.696,50	-41.870,91	0,00	0,00	0,00	0,00	9,75	9,74	0,03	123,95	18,85	20,64
4 A, Forest Land		CH4	34,39	26,65	0,00	0,00	0,00	0,00	66,09	150,45	0,00	-22,52	472,45	1.263,89
4 A, Forest Land		N2O	461,78	435,50	0,00	0,00	0,00	0,00	65,22	64,75	0,00	-5,69	690,90	1.566,55
4 B, Cropland		CO2	14.722,32	15.556,89	0,00	0,00	0,00	0,00	15,86	13,86	0,01	5,67	291,23	388,32
4 B, Cropland		CH4	109,46	94,96	0,00	0,00	0,00	0,00	43,01	65,50	0,00	-13,25	1.166,82	2.139,02
4 B, Cropland		N2O	208,34	396,84	0,00	0,00	0,00	0,00	52,99	110,88	0,00	90,47	123,53	261,64
4 C, Grassland		CO2	29.121,21	25.045,89	0,00	0,00	0,00	0,00	63,55	53,97	0,30	-13,99	261,36	1.103,83
4 C, Grassland		CH4	841,64	919,32	0,00	0,00	0,00	0,00	51,52	93,58	0,00	9,23	337,17	706,46
4 C, Grassland		N2O	62,15	36,68	0,00	0,00	0,00	0,00	50,82	50,31	0,00	-40,99	50,82	289,39
4 D, Wetlands		CO2	3.692,17	4.713,81	0,00	0,00	0,00	0,00	34,81	114,43	0,04	27,67	241,56	447,01
4 D, Wetlands		CH4	5.325,87	5.498,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,63	176,67	0,10	3,23	264,67	786,73
4 D, Wetlands		N2O	30,18	39,01	0,00	0,00	0,00	0,00	8,38	8,33	0,00	29,23	72,35	89,87

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 2021**	**Activity data uncertainty**		**Emission factor uncertainty**		**Combined uncertainty**		**Contribution to variance 2021**		**Inventory trend in nationalemissions for 2021 increase with respect to base year**	
			t CO_2 equivalent	**t CO_2 equivalent**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**-%**	**+%**	**fraction**	**% of base year**	**-%**	**+%**
4 E, Settlements		CO2	1.251,39	1.472,89	0,00	0,00	0,00	0,00	147,88	107,00	0,01	17,70	524,86	626,10
4 E, Settlements		CH4	18,82	28,40	0,00	0,00	0,00	0,00	37,64	56,04	0,00	50,92	137,14	249,94
4 E, Settlements		N2O	122,73	255,78	0,00	0,00	0,00	0,00	46,21	104,04	0,00	108,40	123,26	255,54
4 G, Harvested Wood Products		CO2	-1.330,35	-8.651,28	0,00	0,00	0,00	0,00	32,32	32,30	0,01	550,30	53,95	68,99
5 A, Solid Waste Disposal		CH4	37.191,25	2.574,15	0,00	0,00	0,00	0,00	19,95	20,00	0,00	-93,08	1,92	2,37
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	59,39	791,04	13,72	42,79	76,05	205,45	69,11	153,03	0,00	1.231,99	104,54	374,96
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N2O	19,67	184,34	25,14	29,93	62,75	140,53	56,58	100,60	0,00	837,07	105,50	242,91
5 D 1, Domestic Wastewater		CH4	2.870,84	486,96	30,23	30,40	36,15	36,20	43,45	51,01	0,00	-83,04	3,07	5,08
5 D 1, Domestic Wastewater		N2O	1.029,29	348,22	85,15	126,57	97,22	384,14	76,06	242,41	0,00	-66,17	3.280,25	12.858,77
5 D 2, Industrial Wastewater		CH4	10,36	53,83	0,00	0,00	0,00	0,00	49,99	50,43	0,00	419,43	82,96	148,07
5 D 2, Industrial Wastewater		N2O	28,09	23,84	49,89	49,89	90,05	306,64	91,32	319,60	0,00	-15,15	159,63	754,96
5 E, Other		CH4	0,00	2,64	1,99	2,00	19,96	20,04	20,09	20,20	0,00		36,80	45,38
5 E, Other		N2O	0,00	29,02	2,00	2,01	19,98	20,10	20,05	20,23	0,00		71,51	139,59

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.

21 Referenzen

AGEB. (2015). Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland (pp. 22). Berlin: AGEB - AG Energiebilanzen e.V.

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). 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]. Retrieved from www.ag-energiebilanzen.de

AGEB. (2021c). Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeinheiten (2005-2019). from AGEB - Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=heizwerte2005bis2019.pdf

AGEB (Ed.) (2003). *Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland - Jahre 1990-1999*. Frankfurt am Main: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke.

Allekotte, M., Heidt, C., & Knörr, W. (2022). *Modellintegration des Transport-Visualisierungsmodells (TraViMo) und dem Transport Emission Model (TREMOD) : Endbericht Texte / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/modellintegration-des-transport

http://webde/gruppen/bibliothek/OnlineReports/FB000701.pdf

AMD. (2003). *Umweltbericht*. 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* (B. Read Ed.). Wien: UBA - Umweltbundesamt (Österreich).

Andreas, L. (2000). *Langzeitemissionsverhalten von Deponien für Siedlungsabfälle in den neuen Bundesländern.* (Dissertation), Technische Universität, Dresden.

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*

Austermann-Haun, U., & Witte, H. (2014). *Liste der großtechnischen Anaerobanlagen zur Industrieabwasserreinigung in Deutschland*. Unveröffentlichtes Werk. Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Detmold.

Bachmaier, J., & Gronauer, A. (2007). *Klimabilanz von Biogasstrom*

BAFA. (2022a). Amtliche Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.

BAFA. (2022b). Entwicklung der Rohöleinfuhr in die Bundesrepublik Deutschland: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Ref. 423.

BAFA. (2022c). Mineralölstatistik. https://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloelstatistik/mineraloel_node.html

BAIUDBw. (2020). *Brennstoffeinsatz der Bundeswehr*. Unveröffentlichtes Werk.

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), 5.

Barghorn, M., Gössele, P., & Kaworski, W. (1986). *Laufende Aktualisierung des Datenmaterials aus der Bundesweiten Hausmuellanalyse = Bundesweite Hausmuellanalyse 1983-1985* (U.-. Umweltbundesamt Ed.). Berlin: RGUS - Arbeitsgruppe Umweltstatistik im Institut für Quantitative Methoden der Technischen Universität Berlin.

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)

BDB. (2022). Informationen des Bundesverbandes Deutscher Bestatter e.V. zum Anteil der Feuerbestattungen.

BDZ. (2005). *Zement-Jahresbericht 2004/2005*: BDZ - Bundesverband der Deutschen Zementindustrie.

BDZ. (2017). *Betriebs- und Leistungsfähigkeit von vollbiologischen Kleinkläranlagen bis 50 EW - Abschlussbericht 06/2013 – 12/2014*. Retrieved from https://docplayer.org/71803733-Betriebs-und-leistungsfaehigkeit-von-vollbiologischen-kleinklaeranlagen-bis-50-ew.html

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), 21. doi:10.5194/hess-18-3319-2014

Becker, A., Düputell, D., Gärtner, A., Hirschberger, R., & Oberdörfer, M. (2012). Emissionen klimarelevanter Gase aus Kläranlagen. *Immissionsschutz*(4). doi:doi.org/10.37307/j.1868-7776.2012.04.07

Beduco NV. (2020). Nährstoffgehalte von Kaninchenfutter. Retrieved from http://docplayer.org/28662297-Kaninchen-rohfett-rohprotein.html

Bender, M. (2009). *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, M., & Langer, D. (2009). *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, M., & Langer, D. (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). *Emissionsfaktoren zu Raffinerien für die nationale Emissionsberichterstattung* (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*

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: VERICO.

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.

30. BImSchV: Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen - 30. BImSchV), (2017).

bft. (2022). Entwicklung der Tankstellenanzahl in Deutschland. Retrieved from https://www.bft.de/daten-und-fakten/entwicklung-tankstellenanzahl

BGR (Cartographer). (1995 & 1997). Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1 000 000, digitale Version (BÜK 1000/LBA_V2) [Karte]

BGR (Cartographer). (1997). Digitale Bodenübersichtskarte der BRD (BUEK 1000) [Karte]

Biertümpfel, A., Rudel, H., Werner, A., & Vetter, A. (2009). *15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen*. 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*. Retrieved from https://www.inms.international/sites/inms.international/files/AGD_final_file.pdf

BKG (Cartographer). (2021). Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE2015 [Karte]. Retrieved from http://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/wms-landbedeckungsmodell-fur-deutschland-2015-wms-lbm-2015.html

BLE. (2022a). *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2021*. Retrieved from https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/220210_StatistischesJahrbuch.html#:~:text=Das%20Statistische%20Jahrbuch%20%C3%BCber%20Ern%C3%A4hrung,ble%2Dmedienservice.de%20erh%C3%A4ltlich.

BLE. (2022b). *Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2021*. Retrieved from https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Waldbrandstatistik/Waldbrandstatistik-2021.html;jsessionid=A574B0BF8BBE9FCF17176A7D490DFD41.1_cid335?nn=8907034

BLfU. (2011). *Den Boden fest im Blick - 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern*. Retrieved from https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:276767,AARTxNR:lfu_bod_00083,AARTxNODENR:201966,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X

Blum, U., & Heinbach, R. (2006). *Endbericht zum BZE Ringversuch Humus 2006*

Blum, U., & Heinbach, R. (2007). *Endbericht zum BZE Ringversuch Mineralboden 2007*

Blum, U., & Heinbach, R. (2007). *Endbericht zum BZE Ringversuch Mineralboden 2007 - Teil 1*. Retrieved from https://www.yumpu.com/de/document/read/19086737/teil-1

BMBF, & UBA (Eds.). (1998). *Verbundvorhaben Deponiekörper*. Berlin.

BMEL. (2020). Massive Schäden - Einsatz für die Wälder. Retrieved from https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html

BMELF. (1994). *Der Wald in den neuen Bundesländern - Eine Auswertung vorhandener Daten nach dem Muster der Bundeswaldinventur*

BMELF. (2010). *Aufnahmeanweisung für die Inventurstudie 2008 im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung*

BMELV. (2005). *Die zweite Bundeswaldinventur – BWI²: Der Inventurbericht*

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.

BMJ, & BfJ. (1998). *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG); „Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 101 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist“*. Bundesamts für Justiz Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf.

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, (2017a).

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, (2017b).

Richtlinie des Rates vom 21.Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser, 91/271/EWG C.F.R. (1991).

BMU (Ed.) (1990). *Eckwerte der oekologischen Sanierung und Entwicklung in den neuen Laendern = Umweltpolitik*: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

BNetzA & BKartA, B. f. E., Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt. (2022). *Monitoringbericht 2021*. Retrieved from https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht_Energie2021.pdf;jsessionid=5318E185692FB157AA6E4572CCC92D6D?__blob=publicationFile&v=7

Boelcke, B. (2007). *Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden (Salix) in Kurzumtriebsplantagen*. Retrieved from https://www.landwirtschaft-mv.de/Fachinformationen/Nawaro/?id=63&processor=processor.sa.lfaforenbeitrag

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. (2013). *Methodenentwicklung für die 3. Bundeswaldinventur: Modul 3 Überprüfung und Neukonzeption einer Biomassefunktion - Abschlussbericht*

Böttcher, C. (2022). *Aktualisierung der Emissionsfaktoren für Methan für die Erdgasbereitstellung*. Umweltbundesamt. Dessau. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-der-emissionsfaktoren-fuer-methan

Brandes, F. (2022). *Entwicklung der Methanemissionen in der Gasanwendung (G 201908)*. DVGW. Bonn. Retrieved from https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-megan

BSRIA Limited. (Versch. Jahrgänge). *World Market for Air Conditioning*.

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).

Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.September 2004 (BGBl. I S. 2414), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722) geändert worden ist, (2015).

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. (2010). *Aufnahmeanweisung für die Inventurstudie 2008 im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung*.

Bundesverband Glasindustrie e.V. (2022). Produktion von Glas und Glaswaren nach Branchensektoren: 2020 und 2021 | Production of glass and glassware by industriall sector 2020 and 2021. In B. G. e. V. (Ed.), Jahresbericht 2021/22: Annual Report (pp. 64). Düsseldorf. Retrieved from https://www.bvglas.de/presse/publikationen/.

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* (U. M. F. Forstwissenschaft & B. F. V.-u. Forschungsanstalt Eds.). München.

BVEG. (2021). Jahresbericht des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Statistischer Bericht Retrieved from http://www.erdoel-erdgas.de/

BVEG. (2022a). *Jahresbericht 2021*. Retrieved from https://www.bveg.de/der-verband/publikationen/

BVEG. (2022b). Jahresbericht des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Statistischer Bericht Retrieved from https://www.bveg.de/wp-content/uploads/2022/03/BVEG-Jahresbericht-2021.pdf

BVKalk (2021). [Mitteilung per E-Mail von Dr. Werner Fuchs am 5.7.2021].

BVKalk (2022). [Mitteilung per E-Mail vonPhilip Nuyken am 15.7.2022].

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

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*(10), 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*. Geraardsbergen: 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* (U.-. Umweltbundesamt & g. I. f. W. mbH Eds.). 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. (2012). 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)

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. (2012). 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. (2012). 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. (2022). Asphaltproduktion in Deutschland (einzelne Mitteilung).

DBFZ. (2011). *Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft*

DBU. (2010). *Kurzumtriebsplantagen : Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft - Ergebnisse aus dem Projekt NOVALIS*. Retrieved from https://edocs.tib.eu/files/e01fn12/690161034.pdf

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), 23.

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 25.7.2016].

DEhSt (2017). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet E 1.2) am 2.8.2017].

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].

DEhSt (2022). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet V 2.2) am 25.4.2022].

Deichnik, K. (2022). Aktualisierung und Revision des Modells zur Berechnung der spezifischen Verbräuche und Emissionen des von Deutschland ausgehenden Seeverkehrs. from Bundesamts fur Seeschifffahrt und Hydrographie

Detzel, A., Vogt, R., Fehrenbach, H., Knappe, F., & Gromke, U. (2003). *Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissi-onsermittlung an internationalen Richtlinien (F+E-Vorhaben 299 42 245)*

DGE. (2008). *Ernährungsbericht 2008*. Bonn: DGE - Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V.

DGMK. (1992). *Ansatzpunkte und Potentiale zur Minderung des Treibhauseffektes aus Sicht der fossilen Energieträger*

DGMK. (2002). *Zusammensetzung von Ottokraftstoffen aus deutschen Raffinerien*

Diaz-Valbuena, L. R., L. Leverenz, H., Cappa, C. D., Tchobanoglous, G., Horwath, W. R., & Darby, J. L. (2011). Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide Emissions
from Septic Tank Systems. *Environmental Science and Technology, 45*(7), 7. doi:10.1021/es1036095
DIE PAPIERINDUSTRIE e. V. - Erzeugerpreisindex StaBu. (2022). Ein Leistungsbericht + ausführliche Statistiken - Tabelle N 17. Bonn.
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
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.
Döpelheuer, A. (2002). Anwendungsorientierte Verfahren zur Bestimmung von CO, HC und Ruß aus Luftfahrttriebwerken: DLR.
Dowle, M., Srinivasan, A., Gorecki, J., Chirico, M., Stetsenko, P., Short, T., Lianoglou, S., Antonyan, E., Bonsch, M., Parsonage, H., Ritchie, S., Ren, K., Tan, X., Saporta, R., Seiskari, O., Dong, X., Lang, M., Iwasaki, W., Wenchel, S., Broman, K., Schmidt, T., Arenburg, D., Smith, E., Cocquemas, F., Gomez, M., Chataignon, P., Blaser, N., Selivanov, D., Riabushenko, A., Lee, C., Groves, D., Possenriede, D., Parages, F., Toth, D., Yaramaz-David, M., Perumal, A., Sams, J., Morgan, M., Quinn, M., Storey, R., Saraswat, M., Jacob, M., Schubmehl, M., Vaughan, D., Hocking, T., Silvestri, L., Barrett, T., Hester, J., Damico, A., Freundt, S., Simons, D., Sales de Andrade, E., Miller, C., Peder Meldgaard, J., Tlapak , V., Ushey, K., Eddelbuettel, D., & Schwen, B. (2022). Extension of `data.frame`. 127. https://cran.r-project.org/web/packages/data.table/data.table.pdf
Drexhage, M., & Colin, F. (2001). Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry, 74*(5), 7.
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. In T.-I. f. A. (Braunschweig) & H. A. (Braunschweig) (Eds.), *Kongressband 2015 Göttingen : Vorträge zum Generalthema: Böden - Lebensgrundlage für Pflanze und Tier* (pp. 792). Darmstadt: VDLUFA-Verlag.
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 (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*. Retrieved from https://download.bgr.de/bgr/Boden/HUMUS1000OB/Bericht/humus1000_ob_Bericht.pdf
DWA. (2007). Merkblatt DWA-M 381 - Eindickung von Klärschlamm (Vol. M 381, pp. 39). Hennef DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWA. (ab 1988 - jährlich). Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen - jährliche Veröffentlichung. *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall*.
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
Eddelbuettel, D., & François, R. (2011). Rcpp: Seamless R and C++ integration. *Journal of statistical software, 40*(8), 18. doi:10.18637/jss.v040.i08
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 Dissertation), Humboldt Universität zu 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*, 10. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.11.025
Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2012). Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific reports, 2*, 7.
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.*

EEA. (2021). *Final Review Report 2021 - annual review of national greenhouse gas inventory data pursuant to ARticle 19(2) of Regulation (EU) No 525/2013. Germany.*
EEA. (2022). *Final Review Report 2022 - annual review of national greenhouse gas inventory data pursuant to ARticle 19(2) of Regulation (EU) No 525/2013. 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), 11.

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*. Retrieved from 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). Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019

EMEP/EEA. (2019a). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories*. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019

EMEP/EEA. (2019b). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2019*

en2x. (2021a). *Klimaschutz braucht Energie Vielfalt - Gründungsbericht 2021*. Retrieved from https://en2x.de/service/publikationen/

en2x. (2021b). *MWV-Jahresbericht 2020*. Retrieved from https://en2x.de/service/publikationen/

en2x (2022). [Persönliche Mitteilung (E-Mail) von Herrn M. Bittkau zu Daten zur Emissionsberichterstattung 2022].

Ernährungsphysiologie, G. f. (2006). *Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 10. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen.* Frankfurt/M.: Gesellschaft für Ernährungsphysiologie / Ausschuß für Bedarfsnormen.

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 C.F.R. (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 (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 C.F.R. (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 C.F.R. (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. (1990). *Soil Map of the World: Revised Legend* (92-5-103022-7)

FAO. (2022a). FAOSTAT (Database). Retrieved 21.08.2022, from Food and Agriculture Organization of the United Nations http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA

FAO. (2022b). FAOSTAT-Forestry Production and Trade (Database). from FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/home/en

FAOSTAT. (ab 2015). FAOSTAT Protein supply quantity (Online Database). Retrieved 24.10.2022, from FAOSTAT - Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database 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).*

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* 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., Grottenthaler, W., & Kühn, D. (1994). *Bodenkundliche Kartieranleitung : mit 91 Tabellen* (4., verarbeitete und erweiterte Auflage ed. Vol. 4). Hannover: BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe / Arbeitsgruppe Bodenkunde.

FOEN. (2010). *Switzerland´s Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2008*

Forsell, N., Korosuo, A., Federici, S., Gusti, M., Rincón-Cristóbal, J. 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*. Retrieved from https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5ef89b70-8fba-11e8-8bc1-01aa75ed71a1/language-en

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), 18. doi:10.1186/s13021-019-0125-9

Fortmann, H., Rademacher, P., Groh, H., & Höper, H. (2012). Stoffgehalte und -vorräte
im Boden und deren
Veränderungen. In H. Höper & H. Meesenburg (Eds.), *Tagungsband 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen* (pp. 257). Hannover: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.

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), 16. doi:10.1016/j.geoderma.2011.07.019

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), 12. doi:10.1139/x02-131

Gärtner, S., Münch, J., Reinhardt, G., & Vogt, R. (2008). Materialband E: ÖkobilanzenOptimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in DeutschlandBMU-Bericht.

GASUNIE. (2014). Verdichterstationen. Retrieved from http://www.erdgas-fuer-morgen.de/hoofdmenu/verdichterstationen

Gebauer, A., Sakhaee, A., Don, A., Poggio, M., & Ließ, M. (2022). Topsoil Texture Regionalization for Agricultural Soils in Germany—An Iterative Approach to Advance Model Interpretation. *Frontiers in Soil Science, 1*, 21. doi:10.3389/fsoil.2021.770326

GFZ, D. G. (2018). Pilotstandort Ketzin. Retrieved from http://www.co2ketzin.de/startseite/

Gibbs, M. J., & Woodbury, J. W. (1993). Methane from livestock manure In A. R. v. Amstel (Ed.), *International IPCC workshop methane and nitrous oxide : methods in national emissions inventories and options for control ; proceedings ; EUROASE Hotel, Amersfoort, The Netherlands, 3-5 February, 1993* (pp. 12). Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Gitzhofer, K., Bergmann, G., & Petermann, U. (2008). *Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Glas- und Mineralfaserindustrie*. Offenbach a.M. [u.a.].

Global Carbon Project. (2022). Global Carbon Project (2022) - Carbon budget and trends 2022. Retrieved from www.globalcarbonproject.org/carbonbudget

Gores, S. (2021). *Inventartool zum deutschen Flugverkehrsinventar 1990-2020, im Rahmen der Aktualisierung des Moduls TREMOD-AV im Transportemissionsmodell TREMOD*.

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, U. (2014). Humulus lupulus – The Hidden Half. *BrewingScience, 67*(11-12), 6.

Graf, T. M. (2016). *Tröpfchenbewässerung im Hopfenbau - Feldversuche, Physiologie und Rhizosphäre. .* (Dissertation), Technische Universität München, München. Retrieved from https://mediatum.ub.tum.de/doc/1304504/1304504.pdf

Grebe, S., & Eurich-Menden, B. (2022). *Free-range husbandry of laying hens. Methodology for calculating the nitrogen excreted in the free range area and derivation of the ammonia emission factor.*

Grebe, S., Wulf, S., & Häußermann, U. (2022). *Dokumentation zur Datenaufbereitung der Aktivitätsdaten Biogas für den Nationalen Inventarbericht, Submission 2023*

Greiner, B., Barghoorn, M., & Dobberstein, J. (1983). *Chemisch-physikalische Analyse von Hausmuell* (A.-A. U. Technische Universität Berlin . Institut fuer Quantitative Methoden & U.-. Umweltbundesamt Eds.). Dessau-Roßlau.

Grosse, C. (2021). *Qualitätsprüfung der Texte für den Nationalen Inventarbericht 2022 und Datenerhebung in der Quellgruppe 1.B.2.b* (PNr. 156 527)

Grosse, C. (2022). *Qualitätsprüfung der Texte für die nationalen Inventarberichte 2023 und 2024 und Datenerhebung in der Quellgruppe 1.B.2.b - Zwischenbericht 2022*

Große, C., Eyßer, M., Lehmann, S., Sammueller, J., & Behnke, M. (2022). *Ermittlung von Methanemissionen des Gasverteilnetzes (ME DSO): Inventur der Datenlage zur Abschätzung von Methanemissionen aus dem deutschen Gasverteilnetz, Entwicklung und Durchführung eines repräsentativen Messprogramms zur Erhebung der erforderlichen Daten: Abschlussbericht*

Grün, E., Schmelz, K.-G., & Schild, L. (2013). Klimarelevante Emissionen des Emschersystems. *KA Korespondenz Abwasser, Abfall, 60*(3).

Grundner, F., & Schwappach, A. F. (1952). *Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände* (10. Auflage ed.). Berlin: Verlag von Paul Parey.

Grüneberg, E., Ziche, D., & Wellbrock, N. (2014). Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology, 20*(8), 19. doi:10.1111/gcb.12558

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*

Gschrey, B., Winfried, S., 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). Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/implementierung-der-ab-dem-berichtsjahr-2013

Gujer, W. (2006). *Siedlungswasserwirtschaft* (3., bearbeitete Auflage ed.). Berlin: Springer.

Gurgel, A. (2011). *Ergebnisse der Versuche mit schnellwachsenden Baumarten nach 18 Jahren Bewirtschaftung in Gülzow*. Paper presented at the Tagungsband. Beitrag zu einer Tagung retrieved from https://www.landwirtschaft-mv.de/Fachinformationen/Nawaro/?id=66&processor=processor.sa.lfaforenbeitrag

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., & Fuß, R. (2020a). *Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2018.* Retrieved from https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_77.pdf

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.

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*

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*. Unveröffentlichtes Werk. Probst & Consorten.

Hedel, R., & Kunze, J. (2012). *Recherche des jährlichen Kohleeinsatzes in historischen Schienenfahrzeugen seit 1990*. Unveröffentlichtes Werk. Probst & Consorten Marketing-Beratung. Dresden.

Heilwig, R. (2002). Fahrleistungen und Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr. *DIW Wochenbericht*(51/52), 881.

Henrichsmeyer, W., Cypris, C., Löhe, 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 Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021)*

Hensmann, M., Haardt, S., & Ebert, D. (2011). *Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung* (FKZ 3707 42 301). Retrieved from 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)

Hoehn, E., Riedmüller, U., Eckert, B., Tworeck, A., & Leßmann, D. (2009). *Ökologische Bewertung von künstlichen und erheblich veränderten Seen sowie Mittelgebirgsseen anhand der biologischen Komponente Phytoplankton nach den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie - Bewertungsmodul für Mittelgebirgsseen und Verfahrensanpassungen für Baggerseen, pH-neutrale Tagebauseen, Talsperren und Sondertypen im Tiefland - Abschlussbericht zum LAWA-Projekt O 3.06*. Retrieved from https://www.gewaesserfragen.de/pdfs/Abschlbericht_LAWA_O3_06_Feb_09.pdf

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. (Producer). (2013). Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen in Sachsen. [PowePoint-Präsentation] Retrieved from https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/2013_11_28_Vortrag_Horn_Nossen.pdf

Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., 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. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html

Idoine, N. E., Raycraft, E. R., Hobbs, S. F., Shaw, R. A., Everett, P., Evans, E. J., Deady, E. A., & Mills, A. J. (2022). *World Mineral Production 2016-2020*. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey (BGS).

Illichmann, S. (2016). *Recherche des Festbrennstoffeinsatzes historischer Schienenfahrzeuge in Deutschland 2015*. Probst & Consorten Marketing-Beratung. Dresden.

Institut für Umweltschutz. (1990). *Umweltbericht der DDR : Information zur Analyse der Umweltbedingungen in der DDR und zu weiteren Massnahmen / Institut für Umweltschutz*

IPCC. (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. 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*. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html

IPCC. (2006a). *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. (2006b). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IPCC. (2006c). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use* (S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe Eds.). Japan: IGES.

IPCC. (2006d). *Intergovernmental Panel on Climate Change - 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*

IPCC. (2014). *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.* 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). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 6: Wastewater treatment and discharge*. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_6_Ch06_Wastewater.pdf

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.* 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.* Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.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*

Jamet, M., & Knörr, W. *Überleitung der Fahrleistungserhebung 2014 nach TREMOD - Entwurf des Endberichts zum Forschungsprojekt 84.0523 der BASt*. Unveröffentlichtes Werk.

JARN. (Versch. Jahrgänge). Special Edition “World Air Conditioner Market". *Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, Tokyo 107-0052*.

Järvenpää, M., Repo, A., Akujärvi, A., Kaasalainen, M., & Liski, J. (2018). Soil carbon model Yasso15-Bayesian calibration using worldwide litter decomposition and carbon stock data. *Manuscript in preparation]. Geoscientific Model Development*, 19.

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). 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. (2022). *CO2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe : Aktualisierung 2022*. Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/co2-emissionsfaktoren-fuer-fossile-brennstoffe-0

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)

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*

Kiesel, F. K., Martina. (2020). *140. Gasstatistik 2018*

Kirchgessner, M., Roth, F. X., Schwarz, F. J., & Stangl, G. (2008). *Tierernährung*. Frankfurt am Main, Germany: DLG - Verlags Union Agrar.

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. (2022). *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2022 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH

Öko-Institut e.V.

Knörr, W., Allekotte, M., & Gores, S. (2021). *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2021 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg: Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH

Öko-Institut e.V.

Knörr, W., Heidt, C., & Bergk, F. (2021). *TREMOD Mobile Machinery (TREMOD MM) 2021*. Heidelberg: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

Knörr, W., Heidt, C., Gores, S., & Bergk, F. (2021). *TREMOD - Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035*. Heidelberg: 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*

Knörr, W., Höpfner, U., & Lambrecht, U. (2002). *Aktualisierung des "Daten- und Rechenmodells":Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020 : Endbericht*

Knörr, W., Schacht, A., & Gores, S. (2015). *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2015 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung 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)*. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-modells-zur-berechnung

Koj, H. (2021, 08.09.21). [Persönliche Mitteilung Hr. Koj (BAFA) zur Tanklagererhebung].

König, H. C. (2007). *Waldbrandschutz-Kompendium für Forest und Feuerwehr*

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.

Köppen, S., Markwardt, S., Fehrenbach, H., & Vogt, R. (2016). *Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspfade (BioEm)*

Körschens, M., Rogasik, J., Hülsbergen, K.-J., Ellerbrock, R., Franko, U., Schulz, E., Böning, H., Eich, D., Köppen, D., Kolbe, H., Leithold, G., Merbach, I., Peschke, H., Prystav, W., Reinhold, J., & Zimmer, J. (2004). *Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland*. Retrieved from https://web.archive.org/web/20141114053919/https://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf

Kraftfahrtbundesamt. (Versch. Jahrgänge). *Fahrzeugzulassungen Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter*.

Kreißig, J. (1996). *Ganzheitliche Bilanzierung von Dachbahnen aus Bitumen : Kurzbericht*. Frankfurt am Main.

KrWG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, 22 C.F.R. (2012).

LAWA. (2019). *Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Lagerung von Silage und Festmist auf landwirtschaftlichen Flächen unter sechs Monaten.* Retrieved from https://www.lawa.de/documents/lawa-merkblatt-lagerung-festmist-und-silage_1578302310.pdf

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). Retrieved from http://www.eefa.de/pdf/UBA-Texte_29_06.pdf

Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Hillebrand, B., & Buttermann, H.-G. (2006). *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, H., & Tchobanoglous, G. (2011). *Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Septic Systems: WERF Report DEC1R09*. London: IWA Publishing.

LfL, & BLU. (2009). *Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz: Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft*. Retrieved from https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_34348.pdf

LfL Bayern. (2006). Untersuchungen zur tiergerechten Kaninchenmast. Retrieved from https://www.lfl.bayern.de/ilt/tierhaltung/kleintiere/023092/index.php

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.

Lubenau, U., & Schuetz, S. (2014). *Messungen der Erdgasqualität an verschiedenen Stellen im Netz zur Ableitung bzw. Verifizierung von durchschnittlichen Emissionsfaktoren und Heizwerten von Erdgas*. Unveröffentlichtes Werk. DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH. Leipzig.

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.

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*. 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, 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.

Matthäi, M., & Petereit, N. (2004). Die Qualitätskerze *Sonderdruck*. Jahrbuch für den Praktiker 2004: ECA.

Mauersberger, R., & Kopp, D. (2006). *Klassifikation der Seen für die Naturraumerkundung des nordost-deutschen Tieflandes*. Retrieved from https://uckermaerkische-seen.de/files/foerderverein/downloads/Archiv_2006_3_Mauersberger.pdf

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*. Retrieved from http://www.grubengas.de/german/DMT_Gutachten%20Emissionsvermeidung+Anlagen.pdf

Mell, 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-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. (2020). *Jahresbericht 2020*. Retrieved from https://web.archive.org/web/20210120083826/https://www.mwv.de/wp-content/uploads/2020/09/MWV_Mineraloelwirtschaftsverband-e.V.-Jahresbericht-2020-Webversion.pdf

Nabuurs, G. J., & Schelhaas, M. J. (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"*. Retrieved from 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, M., Nielsen, O.-K., & Thomsen, M. (2010). *Emissions from decentralised CHP plants 2007 - Energinet.dk Environmental project no. 07/1882: Project report 5 - Emission factors and emission inventory for decentralised CHP production*. Retrieved from https://web.archive.org/web/20220120070417/http://www.dmu.dk/Pub/FR786.pdf

Noleppa, S., & Cartsburg, M. (2015). *Das große Wegschmeißen Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland*. Berlin: WWF - World Wildlife Foundation.

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) 4.1*. Retrieved from https://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA41_Development_Report.pdf

ÖKO-INSTITUT. (2006). *Datenaustausch zwischen Emissionshandel und Nationaler Klimaschutzberichterstattun - Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben - FKZ 205 41 521*. Unveröffentlichtes Werk. Berlin.

Oonk, H., & Lambert, C. (2017). *Greenhouse Gas Emissions from Biological Treatment of Waste - Overwiew of Existing Measurements*. Unpublished Work.

Ornellas, D. L. (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.

Paul, C., Weber, M., & Mosandl, R. (2009). *Kohlenstoffbindung junger Aufforstungsflächen*. Retrieved from https://karlgayer.de/Forschung_Aufforstung.pdf

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)* (2. korrigierte, überarbeitete Ausgabe ed.). Bonn: BMVEL - Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.

Pöpken, S. (2011). *Obstanbau, Weinanbau und Weihnachtsbaumkulturen in Deutschland: Zwischenbericht des Forschungsprojekts Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“*

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

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.

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*

Riedmüller, U., Mischke, D. U., Pottgiesser, T., Böhmer, J., Deneke, R., Ritterbusch, D., & Stelzer, D. (2013). Begleittext zu den Steckbriefen der deutschen Seetypen (pp. 25). Freiburg: LBH - Limnologie-Büro-Hoehm.

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., 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*

Rösemann, C., Vos, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2023). *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2021. Report on methods and data (RMD). Submission 2023.*

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. S., Wilfried; Schäfer, Stefan. (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)

Rüter, S. (2011). *Projections of Net-Emissions From Harvested Wood Products in European Countries*. Retrieved from 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.

Sakhaee, A., Gebauer, A., Ließ, M., & Don, A. (2022). Spatial prediction of organic carbon in German agricultural topsoil using machine learning algorithms. *SOIL, 8*(2), 587-604. doi:10.5194/soil-8-587-2022

Santana, E. J., Rodrigues dos Santos, F., Mastelini, S. M., Melquiades, F. L., & Barbon Jr, S. (2021). Improved prediction of soil properties with multi-target stacked generalisation on EDXRF spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 209*, 104231. doi:10.1016/j.chemolab.2020.104231

Schäfer, S., Ruppert, J., Furth, G., & Kludt, R. (2022). *Überarbeitung der Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe in den Branchen Zementklinkerproduktion und Glasherstellung : Teilbericht - Zementklinkerproduktion Texte / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ueberarbeitung-der-emissionsfaktoren-fuer-0

http://webde/gruppen/bibliothek/OnlineReports/FB000678.pdf

Schmidt, T., Schneider, F., Leverenz, D., & Hafner, G. (2019). *Lebensmittelabfälle in Deutschland - Baseline 2015*. Retrieved from https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_71.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.

Schuhmann, K.-U. (2018). Technische Regel für Gasinstallationen – Die DVGW-TRGI 2018. *Energie- und Wasser-Praxis, 2018*(9), 6.

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. D., Hogberg, P., Van Oene, H., Persson, T., Harrison, A. R., 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*. 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)

Schwarz, W., & Harnisch, J. (2003). *Establishing the leakage rates of mobile air conditioners*. Retrieved from https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/leakage_rates_final_report_en.pdf

Schwarz, W., Kimmel, T., Gschrey, B., Leisewitz, A., & Sauer, J. (2012). *Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen*

Schwarz, W., & Leisewitz, A. (1996). *Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland*

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.

Seitel, C., & Oberle, M. (2022). Erfassung der Teichflächen in Bayern. *Fachzeitschrift für die Binnenfischerei Fischer und Teichwirt, 73*(Heft 2), 2.

Senser, F., & Souci, S. W. (1991). *Der kleine "Souci-Fachmann-Kraut" : Lebensmitteltabelle für die Praxis* (D. F. f. Lebensmittelchemie Ed. 2., überarbeitete und erwweitete Auflage ed.).

Shahhosseini, M., Hu, G., & Pham, H. (2022). Optimizing ensemble weights and hyperparameters of machine learning models for regression problems. *Machine Learning with Applications, 7*, 10. doi:10.1016/j.mlwa.2022.100251

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

SKM Enviros. (2010). *Eco-Efficiency Study of Supermarket Refrigeration - For the European Partnership for Energy and Environment (EPEE)*

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.

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.

Spyromitros-Xioufis, E., Tsoumakas, G., Groves, W., & Vlahavas, I. (2016). Multi-target regression via input space expansion: treating targets as inputs. *Machine Learning, 104*(1), 55-98. doi:10.1007/s10994-016-5546-z

Statistik der Kohlenwirtschaft. (2022). Herstellung von Braunkohlenbriketts, Braunkohlenkoks, Staub-, Trocken- und Wirbelschichtkohle nach Revieren. Retrieved from http://www.kohlenstatistik.de/3-0-Uebersichten.html

Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (2010). Landwirtschaftszählung 2010: Agrarstrukturen in Deutschland – Regionale Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010. Retrieved from https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/landwirtschaftszaehlung-2010

Statistisches Bundesamt. (1992). *Statistisches Jahrbuch 1992 für die Bundesrepublik Deutschland* (3824602385). Retrieved from http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat04356a&AN=fuu.02025892&lang=de&site=eds-live

Statistisches Bundesamt (2017, 28.08.2017). [Persönliche Mitteilung von Herrn Kaiser; E 207: Deutschland - Erhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas].

Statistisches Bundesamt. (2018). *Abfallentsorgung (ehemals Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung)*. Retrieved from https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html#_b3r77i0vp

Statistisches Bundesamt. (2019). *Abfallentsorgung (ehemals Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung)*. Retrieved from https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html#_b3r77i0vp

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). *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. (2022a). Aquakulturbetriebe, Anlagengröße: Deutschland, Jahre, Anlagenarten. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt. (2022b). *Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarb. Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (060)*. Tabelle 2: Energieverbrauch nach Energieträgern. Unveröffentlichtes Werk.

Statistisches Bundesamt. (2022c). Feldfrüchte und Grünland: Dauergrünland nach Art der Nutzung im Zeitvergleich.

Statistisches Bundesamt. (2022d). *Jahreserhebung über die Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (067)*. Tabelle 2: Energieverbrauch nach Energieträgern. Unveröffentlichtes Werk. Statistisches Bundesamt.

Statistisches Bundesamt. (2022e). Methoden: Energie - Branchen und Unternehmen. Retrieved from https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Energie/einfuehrung.html

Statistisches Bundesamt. (2022f). *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. (2022g). Sondererhebung: Proteineinsatz in der Schweinemast im Zeitraum 1. November 2020 bis 31. Oktober 2021. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Tabellen/sonderauswertung-schweinemast.html

Statistisches Bundesamt. (2022h). *Statistik der Sterbefälle: Gestorbene (Anzahl)*. Retrieved from: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Geburten/Tabellen/lebendgeborene-gestorbene.html

Statistisches Bundesamt. (2022i). Statistischer Bericht - Abfallentsorgung 2020. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt. (2022j). Tabelle 46321-0005 Beförderte Güter, Beförderungsleistung (Binnenschifffahrt): Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (Abteilungen und Gruppen). Available from Destatis Genesis Online https://www-genesis.destatis.de/genesis/online

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). WasserwirtschaftWasser-wirtschaft: Klärschlamm-entsorgung aus der öffentlichen Abwasser-behandlung.

Statistisches Bundesamt. (dreijährlich - FS 19, R. 2.1.3). Fachserie. 19, Umwelt. 2, Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. 1, Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. 3, Strukturdaten zur Wasserwirtschaft. *Fachserie 19, Umwelt*.

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*. Retrieved from 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/_inhalt.html#_sndpeo3vm

Statistisches Bundesamt. (FS 19, R 2.1.2). Fachserie 19, Reihe 2.1.2, Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung; ab 2010: 3-jährig.

Statistisches Bundesamt. (jährlich). Wasser-wirtschaft: Klärschlamm-entsorgung aus der öffentlichen Abwasser-behandlung (Stand: 2021 ed.).

Statistisches Bundesamt. (jährlich - FS 4, R. 3.1). Fachserie. 4, Produzierendes Gewerbe. 3, Produktion im Produzierenden Gewerbe. 1, Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. . *Fachserie 4, Produzierendes Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 3.1*.

Statistisches Bundesamt. (jährlich - FS 19, R. 1). Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung. *Fachserie 19, Umwelt*.

Statistisches Bundesamt. (o.J.). Außenhandelsstatistik: Zeitreihen aus 51000BJ180. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt. (ohne Jahresangabe). GENESIS Online : Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes (Online-Datenbank). from Statistisches Bundesamt https://www-genesis.destatis.de/genesis/online

Stegmann, R. (2012). *Fachgutachten: „Methanemissionen aus der Ablagerung von mechanischbiologisch behandelten Abfällen“*

Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K., Rettenberger, G., & Schneider, R. (2018). *Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien - Endbericht*

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.

StMELF. (diverse Jahrgänge). Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere. http://www.hi-tier.de

Stocker, T. F., Qin, D., & Plattner, G.-K. (Eds.). (2014). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis : Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

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, (1986).

TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24. Juli 2002 - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, (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*

The R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing - Reference Index: The R Core Team - Version 4.3.0 Under development (unstable). https://www.R-project.org/

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)

Theloke, J., Kampffmeyer, T., Kugler, U., Friedrich, R., Wolf, L., Springwald, T., & Voß, A. (2013). *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.a. i-vi - Diffuse Emissionen aus Mineralöl und Mineralölprodukten - Abschlussbericht* - (Förderkennzeichen 360 16 033). Retrieved from http://webde/gruppen/bibliothek/OnlineReports/EF000477.pdf [Zugriff erfolgt über IP-Erkennung]

Theloke, J., Wagner, S., & Jepsen, D. (2008). *Emissionen aus der Nahrungsmittelindustrie / von Jochen Theloke*: Stuttgart [u.a.].

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: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

Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J. A. T., Sevanto, S. A., & Liski, J. (2009). Leaf litter decomposition—Estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecological Modelling, 220*(23), 19. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.05.016

UBA. (2022). Daten: Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen. *Daten zur Umwelt.* Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen

UMEG. (2004). Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 Baden-Württemberg. *Zentrum für Umweltmessung, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG), 4-02/2004*.

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, § 39 (2006).

UNFCCC. (2010). *National Reports - GHG Inventories (Annex I) - Inventory Review Reports* Retrieved from 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*. Retrieved from https://unfccc.int/documents/6826

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*. Retrieved from 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. (2014a). *Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013. Addendum - Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session*. Retrieved from https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf

UNFCCC. (2014b). *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*. Retrieved from https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020

UNFCCC. (2021). *National Inventory Submissions 2021*. Retrieved from https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021

UNFCCC. (2022a). GHG Review Tools • Locator. Retrieved from https://rt.unfccc.int/locator

UNFCCC. (2022b). *National Inventory Submissions 2022*. Retrieved from https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022

United Nations Economic Comission for Europe: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), (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, I. I., Vasenev, V. I., & Stoorvogel, J. J. (2013). Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region. *Catena, 107*, 7.

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. (2022). *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, (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*

VDZ. (2016). Zement – Produktionsdaten der deutschen Zementindustrie: Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ).

Vogel, V., Hans U., & Synowietz, C. (1974). *Chemikerkalender* (2. Auflage ed.). Berlin: Springer-Verlag.

Volk, F. (1986). Detonation gases and residues of composite explosives. *Journal of energetic Materials, 4(1)*, p. 93-113.

von Winkler, M. (2004). Abschätzung von Emissionsfaktoren bei Transport und Lagerung von Mineralölprodukten *Trade Journal, 120*(10).

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*

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*. Wien: UBA - Umweltbundesamt.

Wellbrock, N., Aydin, C.-T., Block, J., Wolff, B., Evers, J., Gauer, J., Gehrmann, J., Kölling, C., König, N., Liesebach, M., Martin, J., Meiwes, K. J., Riek, W., D., F. K., Milbert, G., Raben, G., Schäffer, W., Bussian, B., Deckert, M., & Diekmann, O. (2006). *Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen*

Wellbrock, N., Bolte, A., & Flessa, H. (2016). *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008* (978-3-86576-161-3). Retrieved from https://ideas.repec.org/p/zbw/jhtire/43.html

Wickham, H., & Müller, K. (2022). R Special Interest Group on Databases (R-SIG-DB). https://cran.r-project.org/web/packages/DBI/index.html

Wickham, H., Ooms, J., Müller, K., Nishiyama, T., & Müller, K. (2022). Rcpp Interface to PostgreSQL. 17. https://cran.r-project.org/web/packages/RPostgres/RPostgres.pdf

Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013). *Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland* (U.-. Umweltbundesamt Ed.). Dessau-Roßlau: UBA - Umweltbundesamt.

Winfried Schwarz, Kimmel, T., Gschrey, B., Leisewitz, A., & Sauer, J. (2012). *Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen*

Wirth, C., Schulze, E. D., Schwalbe, G., Tomczyk, S., Weber, G., Weller, E., Böttcher, H., Schumacher, J., & Vetter, J. (2004). *Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens : Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes "Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Christian-Wirth-4/publication/42088487_Dynamik_der_Kohlenstoffvorrate_in_den_Waldern_Thuringens_Abschlussbericht_zur_1_Phase_des_BMBF-Projektes_Modelluntersuchung_zur_Umsetzung_des_Kyoto-Protokolls/links/56196d6708ae78721f9d0172/Dynamik-der-Kohlenstoffvorraete-in-den-Waeldern-Thueringens-Abschlussbericht-zur-1-Phase-des-BMBF-Projektes-Modelluntersuchung-zur-Umsetzung-des-Kyoto-Protokolls.pdf

Wolff, B., & Riek, W. (1997). *Deutscher Waldbodenbericht 1996-Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung in Wald (BZE) 1987-1993*

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. doi:10.1139/X07-194

Zander, F., & Merten, D. (2006). *Teilvorhaben A: Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990* (FKZ 205 41 115)

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*