| TEXTE | 45/2009

Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung

Teilbericht Stationäre Verbrennungsmotoren

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

| TEXTE | 45/2009

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 42 103/ 01
UBA-FB 001332/5

Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung

Teilbericht Stationäre Verbrennungsmotoren

von

Melanie Degel
Wolfram Jörß
Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3887
verfügbar. Hier finden Sie auch die anderen Teilberichte dieses Forschungsvorhabens.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Email: info@umweltbundesamt.de
Internet: http://www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Fachgebiet III 2.3K Chemische Industrie, Energieerzeugung
Anja Nowack

Dessau-Roßlau, Dezember 2009

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 0 0 1 3 3 2 / 5	2.	3.
4. Titel des Berichts Auswertung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für stationäre Verbrennungsmotoranlagen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Degel, Melanie Jörß, Wolfram	8. Abschlussdatum November 2009	
	9. Veröffentlichungsdatum Dezember 2009	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Schopenhauerstr. 26 14129 Berlin	10. UFOPLAN-Nr. 3707 42 103/ 01	
	11. Seitenzahl 146	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau	12. Literaturangaben 8	
	13. Tabellen und Diagramme 128	
	14. Abbildungen 9	
15. Zusätzliche Angaben Dieser Bericht entstand im Rahmen des F&E-Vorhabens „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung“ (UFOPLAN FKZ 3707 42 103/ 01) und behandelt die Emissionen aus genehmigungsbedürftigen stationären Verbrennungsmotorenanlagen. Die Ergebnisse zu anderen im selben Vorhaben untersuchten Quellgruppen / Industriebranchen werden in getrennten Berichten dargestellt.		
16. Zusammenfassung Es wurden die Daten der bei den Bundesländern vorliegenden Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotorenanlagen mit dem Ziel analysiert, brennstoffspezifische Emissionsfaktoren für eine Reihe von Luftschadstoffen und Treibhausgasen abzuleiten. Dazu wurden knapp 1.000 Anlagen / Nebenanlagen identifiziert, die einerseits mit exakt einem Brennstoff befeuert werden (keine Mischfeuerung) und andererseits technologisch nur aus Motoraggregaten bestehen (keine Spitzenlastkessel). In umfangreichen Plausibilitätsprüfungen wurden je nach Schadstoff und Brennstoff ca. 80 – 95 % der Datensätze als nicht belastbar aussortiert. In den verbleibenden Datensätzen fanden sich trotzdem sehr große Schwankungsbreiten der spezifischen Emissionen. Emissionsfaktoren wurden abgeleitet für die Schadstoffe NO_x, CO, SO_2, Formaldehyd, Gesamtstaub, Methan, B(a)P, Benzol und Gesamt – C ohne Methan und für die Brennstoffe Erdgas, Deponiegas, Klärgas, Biogas, Grubengas, Heizöl EL/ Diesel und Pflanzenöl. Die Unsicherheiten der gefundenen Emissionsfaktoren liegen zwischen +/- 15 % und zwei Größenordnungen. Keine bzw. keine belastbaren Daten wurden gefunden für die Schadstoffe NH_3, N_2O, NMVOC, Feinstaub $PM_{2,5}$/PM_{10} und Ruß sowie für die Brennstoffe Pflanzenölester und Holzgas.		
17. Schlagwörter Emissionserklärungen, 11. BImSchV, Emissionen, Emissionsfaktoren, stationäre Motoren, genehmigungsbedürftige Verbrennungsmotorenanlagen, NOx, CO, SO2, NH3, N2O, CH4, B(a)P, Benzol, Formaldehyd, NMVOC, Gesamt – C ohne Methan, Gesamtstaub, Feinstaub $PM_{2,5}$/PM_{10}, Ruß		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 0 0 1 3 3 2 / 5	2.	3.

4. Report Title
Evaluation of Emissions Declarations according to 11th BimSchV (11th ordinance to the German Clean Air Act – BImSchG) of the year 2004 for stationary internal combustion engines

5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s)
Degel, Melanie
Joerss, Wolfram

6. Performing Organisation (Name, Address)

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
(Institute for Futures Studies and Technology Assessment)
Schopenhauerstr. 26
14129 Berlin
Germany

7. Funding Agency (Name, Address)
Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency)
Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau

8. Report Date
November 2009

9. Publication Date
December 2009

10. UFOPLAN-Ref. No.
3707 42 103/ 01

11. No. of Pages
146

12. No. of Reference
8

13. No. of Tables, Diagrams
128

14. No. of Figures
9

15. Supplementary Notes
This report is a product of the R&D project "Evaluation of Emissions Declarations according to 11. BimSchV (11th ordinance to the German Clean Air Act – BImSchG) of the year 2004 for the use of emissions reporting at UNFCCC and UNECE" (UFOPLAN FKZ 3707 42 103/ 01 – „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung"). It covers emissions from stationary internal combustion engine installations requiring an environmental licence. Results on other source categories / industrial emissions covered in this R&D project are presented in separate reports.

16. Abstract
The Emissions Declarations according to 11th BImSchV from 2004 for stationary internal combustion engines were analysed with the aim to derive fuel specific emission factors for a set of air pollutants and greenhouse gases. For that purpose, curtly 1.000 plants have been identified which on one hand are operated with exactly one fuel (no fuel mixing) and on the other hand technologically solely consist of internal combustion engines (no peak boilers). During extensive checks of plausibility, 80 – 95% of the data sets were rejected, depending on pollutant and fuel. Nonetheless, very high fluctuation ranges for specific emissions were found in the remaining data material. As the result, emission factors have been derived for the pollutants NO_x, CO, SO_2, formaldehyde, total dust, methane, B(a)P, benzene and total-C without Methane and for the fuels natural gas, landfill gas, digester gas, biogas, mine gas, light fuel oil/diesel oil and plant oil. The uncertainties of the derived emission factors are between +/- 15% and two orders of magnitude. No or no resilient data have been found for the pollutants NH_3, N_2O, NMVOC, particulate matter $PM_{2,5}$/PM_{10} and soot as well as for the fuels Plant oil ester and wood gas.

17. Keywords
emissions declarations, 11. BImSchV, emissions, 11th ordinance, clean air act, emission factors stationary internal combustion engines requiring licence, NO_x, CO, SO_2, NH_3, N_2O, CH_4, B(a)P, Benzene, Formaldehyde, NMVOC, Total – C without Methane, Total dust, particulate matter $PM_{2,5}$ / PM_{10}, soot

18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Inhaltsverzeichnis ... 3

Abbildungsverzeichnis ... 6

Tabellenverzeichnis ... 7

Gleichungsverzeichnis ... 12

1 Einführung ... 13

2 Aufgabenstellung ... 14

3 Abbildung von Motorenanlagen in Emissionserklärungen ... 15

4 Methode der Auswertungen der Emissionserklärungen ... 17

4.1 Ausgewertete Bundesländer / Stand der Datenbank ... 17

4.2 Identifizierung von auswertbaren stationären genehmigungsbedürftige Motorenanlagen ... 17

4.2.1 Motorenanlagen in der 4. BImSchV ... 17
4.2.2 Anzahl der stationären genehmigungsbedürftige Motorenanlagen ... 18
4.2.3 Auswertbare Motoranlagen ... 19

4.3 Auswertung der Emissionsdaten – Beispiel NO_x aus Erdgasfeuerungen ... 26

4.3.1 Prüfung paralleler Stoffnummern ... 26
4.3.2 Prüfung der Heizwerte der Brennstoffangaben ... 27
4.3.3 Emissionsfaktorauswertung NO_x – Erdgas ohne weitergehende Plausibilisierung ... 27
4.3.4 Prüfung der Ermittlungsarten der Emissionsdaten ... 29
4.3.5 Konsistenzprüfung der Emissionsfrachten ... 30
4.3.6 Konsistenzprüfung der Brennstoffmengen ... 31
4.3.7 Emissionsfaktorauswertung NO_x – Erdgas mit weitergehender Plausibilisierung ... 34
4.3.8 Prinzip der Betrachtung von Unsicherheiten ... 36
4.3.9 Unsicherheit & Statistik: Vorgehen und Berechnungsformeln ... 37
4.3.10 Sensitivitäten der Ergebnisse auf die Grenzen der Plausibilitätstests ... 44
4.3.11 Auswertung der Abgasreinigungsverfahren ... 45
4.3.12 Zeitlicher Verlauf / Prognosen ... 45
4.3.13 Übersicht der Ergebnisse ... 46
4.3.14 Fazit – Grenzen der Auswertbarkeit ... 47

5 Ergebnisse - Emissionsfaktoren ... 49

5.1 Überblick ... 49

5.2 Stickoxide ... 50

5.2.1 Emissionsfaktor NO_x – Erdgas ... 50
5.2.2 Emissionsfaktor NO_x – Deponiegas ... 52
5.2.3 Emissionsfaktor NO_x – Klärgas ... 54
5.2.4 Emissionsfaktor NO_x – Biogas ... 55
5.2.5 Emissionsfaktor NO_x – Grubengas ... 57
5.2.6 Emissionsfaktor NO_x – Heizöl EL / Diesel ... 59
5.2.7 Emissionsfaktor NO_x – Pflanzenöl ... 60

5.2.8 Emissionsfaktor NO_x –Pflanzenölester 60
5.3 Kohlenmonoxid 61
5.3.1 Emissionsfaktor CO – Erdgas 61
5.3.2 Emissionsfaktor CO – Deponiegas 63
5.3.3 Emissionsfaktor CO – Klärgas 65
5.3.4 Emissionsfaktor CO – Biogas 67
5.3.5 Emissionsfaktor CO – Grubengas 69
5.3.6 Emissionsfaktor CO – Heizöl EL / Diesel 71
5.3.7 Emissionsfaktor CO – Pflanzenöl 72
5.3.8 Emissionsfaktor CO – Pflanzenölester 72
5.4 Schwefeldioxid 73
5.4.1 Emissionsfaktor SO_2 – Erdgas 74
5.4.2 Emissionsfaktor SO_2 – Deponiegas 75
5.4.3 Emissionsfaktor SO_2 – Klärgas 77
5.4.4 Emissionsfaktor SO_2 – Biogas 79
5.4.5 Emissionsfaktor SO_2 – Grubengas 81
5.4.6 Emissionsfaktor SO_2 – Heizöl EL / Diesel 83
5.5 Ammoniak 85
5.5.1 Emissionsfaktor NH_3 – Heizöl EL / Diesel 85
5.6 Lachgas 87
5.6.1 Emissionsfaktor N_2O – Erdgas 87
5.6.2 Emissionsfaktor N_2O – Deponiegas 89
5.6.3 Emissionsfaktor N_2O – Klärgas 90
5.6.4 Emissionsfaktor N_2O – Biogas 92
5.6.5 Emissionsfaktor N_2O – Heizöl EL / Diesel 93
5.7 Methan 95
5.7.1 Emissionsfaktor CH_4 – Erdgas 95
5.7.2 Emissionsfaktor CH_4 – Deponiegas 97
5.7.3 Emissionsfaktor CH_4 – Klärgas 98
5.7.4 Emissionsfaktor CH_4 – Biogas 100
5.7.5 Emissionsfaktor CH_4 – Heizöl EL / Diesel 101
5.7.6 Emissionsfaktor CH_4 – Pflanzenöl 103
5.8 Benzo(a)pyren 104
5.8.1 Emissionsfaktor B(a)P – Erdgas 104
5.8.2 Emissionsfaktor B(a)P – Deponiegas 106
5.8.3 Emissionsfaktor B(a)P – Heizöl EL / Diesel 107
5.9 Benzol 110
5.9.1 Emissionsfaktor Benzol – Deponiegas 110
5.9.2 Emissionsfaktor Benzol – Heizöl EL / Diesel 112
5.10 Formaldehyd 114
5.10.1 Emissionsfaktor Formaldehyd – Erdgas 114
5.10.2 Emissionsfaktor Formaldehyd – Deponiegas 116
5.10.3 Emissionsfaktor Formaldehyd – Klärgas 118
5.10.4 Emissionsfaktor Formaldehyd – Biogas 120
5.10.5 Emissionsfaktor Formaldehyd – Grubengas 122
5.10.6 Emissionsfaktor Formaldehyd – Heizöl EL / Diesel 124

5.10.7 Emissionsfaktor Formaldehyd – Pflanzenölester 125
5.11 Flüchtige organische Stoffe außer Methan (NMVOC) 126
5.11.1 Emissionsfaktor NMVOC - Erdgas 126
5.11.2 Emissionsfaktor NMVOC - Deponiegas 126
5.11.3 Emissionsfaktor NMVOC - Klärgas 128
5.11.4 Emissionsfaktor NMVOC – Heizöl EL / Diesel 128
5.12 Organischer Kohlenstoff (Gesamt-C ohne Methan) 130
5.12.1 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) - Erdgas 131
5.12.2 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) – Deponiegas 131
5.12.3 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) – Klärgas 133
5.12.4 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) – Grubengas 133
5.13 Staub (Gesamtstaub) 134
5.13.1 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Erdgas 134
5.13.2 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Deponiegas 136
5.13.3 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Klärgas 138
5.13.4 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Biogas 140
5.13.5 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Grubengas 141
5.13.6 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Heizöl EL / Diesel 143
5.13.7 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Pflanzenöl 144
5.13.8 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Pflanzenölester 144
5.14 Ruß 145
5.14.1 Emissionsfaktor Ruß – Heizöl EL / Diesel 145
6 Quellen 146

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Sortierung der erdgasbetriebenen Motorenanlagen mit plausiblem Heizwerten und einer Erdgasmenge > 0 28

Abbildung 2: NOx Emissionsfaktor in kg/TJ aller erdgasbetriebenen Motoranlagen mit eindeutigen Stickoxidemissionen, plausiblen Heizwerten und Erdgaseinsatz größer Null, über den Erdgaseinsatz pro Motoranlage 28

Abbildung 3: NO_x-Emissionsfaktoren über der kumulierten Erdgasmenge aller Motoranlagen mit eindeutigen Stoffnummerzuweisungen für Stickoxid 29

Abbildung 4: Ergebnisdarstellung der Konsistenzprüfung des spezifischen Rauchgasvolumens . 33

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Sortierung der gemessenen und berechneten konsistenten erdgasbetriebenen Motoranlagen 34

Abbildung 6: NO_x Emissionsfaktor in kg/TJ der gemessenen konsistenten Motoranlagen über den Erdgaseinsatz pro Motoranlage in TJ/a 35

Abbildung 7: NO_x-Emissionsfaktoren über der kumulierten Erdgasmenge der gemessenen konsistenten Motoranlagen 35

Abbildung 8: Veranschaulichung der Quantilsberechnung der Auswertung 40

Abbildung 9: Veranschaulichung der Streuung des niedrigsten und höchsten Quantil-Emissionsfaktors zum Summen-Emissionsfaktor aus Gesamtsumme von Emission und Brennstoff der betrachteten Motoranlagen 41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung von genehmigungsbedürftigen Stationären Motoranlagen zu den Nr. der 4. BImSchV ... 14
Tabelle 2: 4. BImSchV-Nummern, die ausschließlich Motorenanlagen enthalten ... 17
Tabelle 3: 4. BImSchV-Nummern, die eventuell auch Motorenanlagen enthalten ... 18
Tabelle 4: Anzahl von Anlagen nach ausgewählten motorenrelevanten Nummern der 4. BImSchV ... 18
Tabelle 5: Anzahl der gefundenen Anlagen, die Motoren beinhalten ... 19
Tabelle 6: Anzahl der auswertbaren Motorenanlagen ... 20
Tabelle 7: Zusammenfassung der auswertbaren Motoranlagen nach Nr. der 4. BImSchV ... 21
Tabelle 8: Verteilung der Brennstoffe innerhalb der auswertbaren Motoren ... 22
Tabelle 9: Übersicht Verteilung der in den auswertbaren Motorenanlagen eingesetzten Brennstoffe auf die Nummern der 4. BImSchV aller eindeutigen Motoren, betrieben mit genau einem Brennstoff ... 23
Tabelle 10: Brennstoffmengen der auswertbaren Motorenanlagen ... 25
Tabelle 11: Verteilung der Brennstoffarten innerhalb der Motoren mit eindeutigen NOx Stoffnummern ... 26
Tabelle 12: benutzte Plausibilitätsgrenzen für die unteren Heizwerte ... 27
Tabelle 13: Ergebnisse des Konsistenztests der Stickoxidemissionsmengen bei Erdgasfeuerungen und ihre Ermittlungsarten ... 31
Tabelle 14: benutzte spezifische Rauchgasvolumina (bei 5% O_2) und Abschneidekriterien ... 33
Tabelle 15: Sensitivitäten der Ergebnisse von Anlagenzahl die in die Berechnung des Summen Emissionsfaktors eingehen und der Summen Emissionsfaktors. Markiert sind die Zellen der im Bericht vorgestellten Berechnungen ... 44
Tabelle 16: Darstellung der Motoranlagen mit Abgasreinigung innerhalb der gemessenen konsistenten Motoranlagen ... 45
Tabelle 17: Emissionsfaktoren NO_x – Erdgas ... 46
Tabelle 18: Überblick über die ermittelten Emissionsfaktoren ... 49
Tabelle 19: Für NO_x auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 50
Tabelle 20: Emissionsfaktoren NO_x – Erdgas ... 51
Tabelle 21: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Erdgas verschiedener Quellen ... 52
Tabelle 22: Emissionsfaktoren NO_x – Deponiegas ... 53
Tabelle 23: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Deponiegas verschiedener Quellen ... 53
Tabelle 24: Emissionsfaktoren NO_x – Klärgas ... 54
Tabelle 25: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Klärgas verschiedener Quellen ... 55
Tabelle 26: Emissionsfaktoren NO_x – Biogas ... 56
Tabelle 27: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Biogas verschiedener Quellen ... 57

Tabelle 28: Emissionsfaktoren NO_x – Grubengas ... 58
Tabelle 29: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Grubengas verschiedener Quellen ... 58
Tabelle 30: Emissionsfaktoren NO_x – Heizöl EL/Diesel ... 59
Tabelle 31: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen 60
Tabelle 32: Für CO auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 61
Tabelle 33: Emissionsfaktoren CO – Erdgas ... 62
Tabelle 34: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Erdgas verschiedener Quellen ... 63
Tabelle 35: Emissionsfaktoren CO – Deponiegas ... 64
Tabelle 36: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Deponiegas verschiedener Quellen ... 65
Tabelle 37: Emissionsfaktoren CO – Klärgas ... 66
Tabelle 38: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Klärgas verschiedener Quellen ... 67
Tabelle 39: Emissionsfaktoren CO – Biogas ... 68
Tabelle 40: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Biogas verschiedener Quellen ... 69
Tabelle 41: Emissionsfaktoren CO – Grubengas ... 70
Tabelle 42: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Grubengas verschiedener Quellen ... 70
Tabelle 43: Emissionsfaktoren CO – Heizöl EL/Diesel ... 71
Tabelle 44: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen . 72
Tabelle 45: Für SO_2 auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 73
Tabelle 46: Emissionsfaktoren SO_2 – Erdgas ... 74
Tabelle 47: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Erdgas verschiedener Quellen ... 75
Tabelle 48: Emissionsfaktoren SO_2 – Deponiegas ... 76
Tabelle 49: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Deponiegas verschiedener Quellen ... 77
Tabelle 50: Emissionsfaktoren SO_2 – Klärgas ... 78
Tabelle 51: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Klärgas verschiedener Quellen ... 79
Tabelle 52: Emissionsfaktoren SO_2 – Biogas ... 80
Tabelle 53: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Biogas verschiedener Quellen ... 81
Tabelle 54: Emissionsfaktoren SO_2 – Grubengas ... 82
Tabelle 55: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Grubengas verschiedener Quellen ... 82
Tabelle 56: Emissionsfaktoren SO_2 – Heizöl EL/Diesel ... 83
Tabelle 57: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen 84
Tabelle 58: Emissionsfaktoren NH_3 – Heizöl EL/Diesel ... 85
Tabelle 59: Vergleich von Emissionsfaktoren NH_3 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen 86
Tabelle 60: Für N_2O auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 87
Tabelle 61: Emissionsfaktoren N_2O – Erdgas ... 88
Tabelle 62: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Erdgas verschiedener Quellen ... 88

Tabelle 63: Emissionsfaktoren N_2O – Deponiegas ... 89
Tabelle 64: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Deponiegas verschiedener Quellen ... 90
Tabelle 65: Emissionsfaktoren N_2O – Klärgas ... 91
Tabelle 66: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Klärgas verschiedener Quellen ... 91
Tabelle 67: Emissionsfaktoren N_2O – Biogas ... 92
Tabelle 68: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Biogas verschiedener Quellen ... 93
Tabelle 69: Emissionsfaktoren N_2O – Heizöl EL/Diesel ... 94
Tabelle 70: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen 94
Tabelle 71: Für CH_4 auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 95
Tabelle 72: Emissionsfaktoren CH_4 – Erdgas ... 96
Tabelle 73: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Erdgas verschiedener Quellen ... 96
Tabelle 74: Emissionsfaktoren CH_4 – Deponiegas ... 97
Tabelle 75: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Deponiegas verschiedener Quellen ... 98
Tabelle 76: Emissionsfaktoren CH_4 – Klärgas ... 99
Tabelle 77: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Klärgas verschiedener Quellen ... 99
Tabelle 78: Emissionsfaktoren CH_4 – Biogas ... 100
Tabelle 79: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Biogas verschiedener Quellen ... 101
Tabelle 80: Emissionsfaktoren CH_4 – Heizöl EL/Diesel ... 102
Tabelle 81: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen102
Tabelle 82: Für B(a)P auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 104
Tabelle 83: Emissionsfaktoren B(a)P – Erdgas ... 105
Tabelle 84: Vergleich von Emissionsfaktoren B(a)P – Erdgas verschiedener Quellen ... 105
Tabelle 85: Emissionsfaktoren B(a)P – Deponiegas ... 106
Tabelle 86: Vergleich von Emissionsfaktoren B(a)P – Deponiegas verschiedener Quellen ... 107
Tabelle 87: Emissionsfaktoren B(a)P – Heizöl EL / Diesel ... 108
Tabelle 88: Vergleich von Emissionsfaktoren B(a)P – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen ... 108
Tabelle 89: Für Benzol auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 110
Tabelle 90: Emissionsfaktoren C_6H_6 – Deponiegas ... 111
Tabelle 91: Vergleich von Emissionsfaktoren C_6H_6 – Deponiegas verschiedener Quellen ... 111
Tabelle 92: Emissionsfaktoren C_6H_6 – Heizöl EL/Diesel ... 112
Tabelle 93: Vergleich von Emissionsfaktoren C_6H_6 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen113
Tabelle 94: Für CH_2O auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 114
Tabelle 95: Emissionsfaktoren CH_2O – Erdgas ... 115
Tabelle 96: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Erdgas verschiedener Quellen ... 116

Tabelle 97: Emissionsfaktoren CH_2O – Deponiegas ... 117
Tabelle 98: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Deponiegas verschiedener Quellen ... 118
Tabelle 99: Emissionsfaktoren CH_2O – Klärgas ... 119
Tabelle 100: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Klärgas verschiedener Quellen ... 120
Tabelle 101: Emissionsfaktoren CH_2O – Biogas ... 121
Tabelle 102: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Biogas verschiedener Quellen ... 122
Tabelle 103: Emissionsfaktoren CH_2O – Grubengas ... 123
Tabelle 104: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Grubengas verschiedener Quellen ... 123
Tabelle 105: Emissionsfaktoren CH_2O – Heizöl EL/Diesel ... 124
Tabelle 106: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen ... 125
Tabelle 107: Für NMVOC auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 126
Tabelle 108: Emissionsfaktoren NMVOC – Deponiegas ... 127
Tabelle 109: Vergleich von Emissionsfaktoren NMVOC – Deponiegas verschiedener Quellen 127
Tabelle 110: Emissionsfaktoren NMVOC – Heizöl EL/Diesel ... 128
Tabelle 111: Vergleich von Emissionsfaktoren NMVOC – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen ... 129
Tabelle 112: Daten zur Berechnung der Gesamtmolekülmasse von NMVOC aus den C-Anteilen ... 130
Tabelle 113: Für Gesamt-C (ohne Methan) auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 131
Tabelle 114: Emissionsfaktoren Gesamt-C ohne Methan – Deponiegas ... 132
Tabelle 115: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamt-C ohne Methan – Deponiegas verschiedener Quellen ... 133
Tabelle 116: Für Staub auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe ... 134
Tabelle 117: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Erdgas ... 135
Tabelle 118: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Erdgas verschiedener Quellen. 136
Tabelle 119: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Deponiegas ... 137
Tabelle 120: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Deponiegas verschiedener Quellen ... 138
Tabelle 121: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Klärgas ... 139
Tabelle 122: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Klärgas verschiedener Quellen 139
Tabelle 123: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Biogas ... 140
Tabelle 124: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Biogas verschiedener Quellen. 141
Tabelle 125: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Grubengas ... 142
Tabelle 126: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Grubengas verschiedener Quellen ... 142

Tabelle 127: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Heizöl EL/Diesel 143
Tabelle 128: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen 144

Gleichungsverzeichnis

Gleichung 1: Berechnungsansatz zum Test der Plausibilität der angegebenen Emissionsmengen 30
Gleichung 2: Berechnung des jährlichen Rauchgasvolumens pro EBV 31
Gleichung 3: Berechnung des spezifischen Rauchgasvolumens pro Anlagenteil 31
Gleichung 4: Umrechnung des Rauchgasvolumens bei verschiedenen Sauerstoffbezugswerten im Abgas (nach TA Luft) 32
Gleichung 5: Arithmetisches Mittel 37
Gleichung 6: Summen-Emissionsfaktor Berechnungsformel: 38
Gleichung 7: Berechnung der Standardabweichung 38
Gleichung 8: Berechnung der gewichteten Standardabweichung 39
Gleichung 9: stichprobenbasierte Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors (95%-Konfidenzintervall): 41
Gleichung 10: Additive Verknüpfung von Unsicherheiten 42
Gleichung 11: Fortpflanzung von Messunsicherheiten 42
Gleichung 12: Multiplikative Verknüpfung von Unsicherheiten 43
Gleichung 13: Erwartungswert einer logarithmischen Normalverteilung 43
Gleichung 14: p-Quantil einer logarithmischen Normalverteilung 43

1 Einführung

Im Forschungsvorhaben FKZ 3707 42 103/ 01 „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung“ werden in Arbeitspaket 2 genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotorenanlagen und in Arbeitspaket 3 eine Reihe weiterer Quellgruppen behandelt.
An dieser Stelle wird als „Endbericht Stationäre Verbrennungsmotoren“ ein getrennter Bericht über die Auswertungen zu genehmigungsbedürftigen stationären Verbrennungsmotorenanlagen vorgelegt.
Nach einer kurzen Konkretisierung der Aufgabenstellung in Kapitel 2 skizziert dieser Bericht in Kapitel 3, wie die Emissionserklärungen strukturiert sind und was für auswertungsrelevante Daten von den stationären Verbrennungsmotoren auf welchen Aggregationsniveaus in den Emissionserklärungen enthalten sind. Kapitel 4 beschreibt ausführlich die Methodik der Auswertung der Emissionserklärungen am Beispiel der NO_x-Emissionen aus erdgasbefeuerten Motoren. In Kapitel 5 schließlich werden die ermittelten Emissionsfaktoren der betrachteten Brennstoffe und Schadstoffe dargestellt.

2 Aufgabenstellung

Für Motoren werden bisher im Emissionsinventar des Umweltbundesamtes (Datenbank ZSE – Zentrales System Emissionen) Einsätze von Erdgas, Deponiegas, Klärgas, Heizöl EL und Diesel verbucht. Im ZSE werden Motorenanlagen aktivitätsseitig unterschieden nach öffentlichen Kraftwerken (alle Brennstoffe), Industriekraftwerken (Erdgas, HEL, Diesel), Raffinerien (nur Diesel) und Zechen- / Grubenkraftwerken (nur Diesel). Die brennstoffspezifischen Emissionsfaktoren (EF) sind i.d.R. in den verschiedenen Sektoren identisch, schlecht dokumentiert und stammen meist von Kesselfeuerungen. Es gibt nach Ansicht des UBA Überarbeitungsbedarf in der gesamten Schadstoffpalette. Neu untersucht werden sollen zusätzlich die Brennstoffe Holzgas, Pflanzenöl, Pflanzenölester und Klärgas. Zum Zwecke der Identifizierung von genehmigungsbedürftigen stationären Verbrennungsmotoranlagen in den Emissionserklärungen zeigt Tabelle 1 die Nummern der 4. BImSchV, innerhalb derer im Rahmen des Vorhabens nach solchen Anlagen gesucht wird.

Tabelle 1: Zuordnung von genehmigungsbedürftigen Stationären Motoranlagen zu den Nr. der 4. BImSchV

Nr. gemäß 4. BImSchV	CODE- Nr. 4BImSchV	Kurz-Bezeichnung	Bemerkungen
1.1	0101.1	Feuerungsanlagen >= 50 MW feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe	Meist keine Motoren, manchmal haben Genehmigungen von Motoranlagen nach diesen Nr. stattgefunden
1.2	0102B2	Feuerungsanlagen 10 - < 50 MW sonstige gasförmige Brennstoffe	
1.2	0102C2	Feuerungsanlagen 20 - < 50 MW Heizöl EL, Pflanzenöle, Methanol, Ethanol, Erdgas, Flüssiggas	
1.3	0103.1	Feuerungsanlagen >= 1 MW andere Brennstoffe	
1.3	0103.2	Feuerungsanlagen 0,1 - < 1 MW andere Brennstoffe	
1.4	0104.1	Verbrennungsmotoranl. für Arbeitsmaschinen >= 50 MW	Unter diesen Nr. dürften vollständig Motoren zu finden sein.
1.4	0104A2	Verbrennungsmotoranl. für Arbeitsmaschinen 1 - < 50 MW für Heizöl EL, gasförmige Brennstoffe	
1.4	0104BAA2	Verbrennungsmotoranl. für Energieerz. 1 - < 10 MW sonstige gasförmige Brennstoffe	
1.4	0104BBB2	Verbrennungsmotoranl. für Energieerz. 1 - < 20 MW Heizöl EL, Erdgas, Flüssiggas, Pflanzenöl ...	
1.13	0113.2	Generator- oder Wassergaserzeugung	Holzgas mit motorischer Nutzung
8.1	0801A1	Therm. Abfallentsorgung für feste, flüssige, gefasste gasförmige Abfälle u. Deponiegas	Eigentlich keine Motoren, Prüfung ob Genehmigung nach diesen Nr.
8.1	0801A2	Abfackeln v. Deponiegas od. and. gasförmigen Stoffen	
8.1	0801B1	Verbrennungsmotoranlagen Altöl, Deponiegas >= 1MW	Unter diesen Nr. dürften vollständig Motoren zu finden sein.
8.1	0801B2	Verbrennungsmotoranlagen Altöl, Deponiegas < 1MW	
10.15	1015A1	Prüfstände für Verbrennungsmotoren >= 10 MW	.
10.15	1015A2	Prüfstände für Verbrennungsmotoren 0,3 - < 10 MW	

3 Abbildung von Motorenanlagen in Emissionserklärungen

Im Folgenden soll kurz skizziert werden, was für auswertungsrelevante Daten auf welchen Aggregationsniveaus in den Emissionserklärungen enthalten sind.
Eine „Anlage“ im Sinne des Immissionsschutzrechts kann eine bis mehrere Anlagenteile / Nebenanlagen enthalten. Nummern nach 4.BImSchV (vgl. Tabelle 1) werden diesen „Anlagenteilen“ zugeordnet. Wenn also im weiteren in diesem Bericht von „stationären Verbrennungsmotoranlagen“ / „Motoranlagen“ / „Anlagen“ die Rede ist, so sind im Sinne des Genehmigungsrechts sowohl „Anlagen“ gemeint (wenn es keine Unterteilung in Anlagenteile gibt), als auch „Anlagenteile“ (wenn z.B. eine Anlage aus mehreren Anlagenteilen besteht, von denen einer oder mehrere einen Motor beinhalten. In den Emissionserklärungen gibt es auf dem Niveau des Anlagenteils ein Datenbankfeld „Anlagenteilbezeichnung“, in dem Klartext eingetragen wird und in dem ggf. ein Hinweis auf die Technik „Verbrennungsmotor“ zu finden ist.
Übergeordnet gibt es in den Emissionserklärungen noch das Konzept der Arbeitsstätte, die durch eine Arbeitsstättennummer gekennzeichnet ist. Eine Arbeitsstätte kann eine bis mehrere Anlagen enthalten. Jede Anlage hat eine innerhalb der Arbeitsstätte eindeutige Nummer und jeder Anlagenteil eine innerhalb der Anlage eindeutige Nummer. Die Kombination aus Arbeitsstättennummer, Anlagennummer und Anlagenteilnummer ermöglicht somit die eindeutige Identifizierung eines Anlagenteils (= Verbrennungsmotoranlage im Sinne dieses Berichts) aus dem gesamten Datenbestand der Emissionserklärungen[1].
Eine weitere Strukturierung der Teilanlagen erfolgt in „Emissionsverursachende Betriebsvorgänge“ (EBV oder EV[2]) und „Quellen“. Jeder EBV und jede Quelle hat innerhalb des Anlagenteils eine eindeutige Nummer.
Die Praxis der Nutzung der **EBVs** variiert dabei:

- Zum einen können innerhalb eines als Motoranlage titulierten Anlagenteils mehrere technische Module enthalten sein, z.B. Motoren, aber auch Spitzenlastkessel, die als EBV klassifiziert werden und (optimalerweise) im Datenbankfeld „EV-Art-Bezeichnung“ mit einem Klarnamen belegt sind.
- Zum anderen können verschiedene Betriebsarten eines Motors / eines Anlagenteils als verschiedene EBV eingeordnet werden, z.B. Anfahrbetrieb, Normalbetrieb, Stillstand etc. Diese Betriebszustände können über einen Zahlenschlüssel oder über Klartext im Datenbankfeld „EV-Bezeichnung“ gekennzeichnet werden.

„Quellen“ sind in der Systematik der Emissionserklärung die Orte, an denen die Emissionen in die Umwelt entlassen werden, im Falle von stationären Motoranlagen üblicherweise ein Kamin.
Es kommt bei den verschiedenen Anlagenteilen sowohl vor, dass einem EBV mehrere Quellen zugeordnet werden (z.B. ein Anlagenteil besteht aus formal einem EBV, der aber technisch in drei Motormodule unterteilt ist, die jeweils einen eigenen Kamin (=Quelle) haben), als auch dass mehrere EBV über eine Quelle abgeleitet werden (denkbar, wenn die EBVs verschiedene Betriebszustände eines Motors darstellen, und auch wenn die EBVs verschiedene Motormodule darstellen, die über denselben Kamin abgeleitet werden).

Das Verständnis der verschiedenen Aggregationsniveaus „Anlage(nteil)“, „EBV“ und „Quelle“ ist deshalb von großer Bedeutung für die Auswertung, weil die Informationen zu Brennstoffverbrauch und Emissionen auf verschiedenen Niveaus vorliegen:

- Daten z.B. zu Brennstoffverbrauch (Einheit [t/a]), Heizwert und Feuerungsleistung [MW] liegen auf Niveau des Anlagenteils vor.

[1] Diese Kombination wird als „Anlagen-Code“ in Excel-basierten Auswertungen des IZT benutzt.
[2] Der Einfachheit halber wird im Folgenden nur noch die Abkürzung EBV benutzt.

- Daten z.B. zu Abgas-Volumenströmen und Betriebsstunden sowie zum Vorhandensein von Abgasreinigungsvorrichtungen liegen auf Niveau der EBV vor.
- Daten zu Emissionsfrachten ([kg/a] und [kg/h]) und –konzentrationen [mg/m³] sowie zur Bestimmungsart der Jahresemission (gemessen, berechnet oder geschätzt) liegen schadstoffspezifisch auf Niveau der Quellen in Verknüpfung mit dem Niveau der EBV vor[3].

Eine der Herausforderungen der Auswertung der Emissionserklärungen liegt also darin, dass einerseits anlagen(teil)spezifisch Brennstoffdaten erhoben werden müssen und andererseits alle zu einem Anlagenteil gehörigen Emissionsfrachten aufaddiert werden müssen, um daraus einen Emissionsfaktor [kg/TJ] bilden zu können. Dabei sind umfangreiche Prüfungen auf Vollständigkeit und Plausibilität durchzuführen. Diese später noch beschriebenen Plausibilitätschecks setzen ebenfalls auf verschiedenen Niveaus (Anlage / EBV / Quelle / Emission) an.

[3] D.h., wenn mehrere EBV über eine Quelle laufen, kann es an dieser Quelle mehrere Jahresemissionsfrachten desselben Schadstoffes geben, die für die Auswertung der Quelle addiert werden müssen.

4 Methode der Auswertungen der Emissionserklärungen

Im Folgenden wird in Kapitel 4 das methodische Vorgehen bei der Auswertung der Emissionserklärungen dokumentiert. Zunächst wird in Kapitel 4.2 die Identifizierung von auswertbaren stationären genehmigungsbedürftigen Motorenanlagen vorgestellt. Anschließend wird in Kapitel 4.3 am Beispiel von NO_x-Emissionen aus erdgasbefeuerten Motoranlagen das Vorgehen zur Ableitung von brennstoffspezifischen Emissionsfaktoren dokumentiert.
Die eigentlichen Ergebnisse der Auswertungen, d.h. die aus den Emissionserklärungen gewonnenen Emissionsfaktoren für eine Mehrzahl von Brennstoffen und Schadstoffen, inkl. Aussagen zur Streuung der EF im Anlagenpark und zur Unsicherheit der Emissionsfaktoren finden sich in übersichtlicher Form in Kapitel 1.

4.1 Ausgewertete Bundesländer / Stand der Datenbank

Für die Auswertung der Emissionserklärungen wurden die Lieferungen aller 16 Bundesländer in eine zentrale Datenbank eingespielt. Der Auswertung liegt die Datenbank „DB_EE2004_23012009.MDB“ (Version vom 23.Januar 2009) zugrunde.

4.2 Identifizierung von auswertbaren stationären genehmigungsbedürftige Motorenanlagen

4.2.1 Motorenanlagen in der 4. BImSchV

Für die stationären genehmigungsbedürftigen Motorenanlagen wurde eine größere Anzahl an Nummern der 4. BImSchV abgefragt, diese unterteilen sich in zwei Gruppen: Tabelle 2 zeigt diejenigen Nummern der 4. BImSchV, die nach Einschätzung der Forschungsnehmer ausschließlich Motoren enthalten, während Tabelle 3 diejenigen abgefragten Nummern enthält, von denen die Forschungsnehmer vermuteten, dass dort neben anderen Feuerungsanlagen auch einige Motoren zu finden sind.

Tabelle 2: 4. BImSchV-Nummern, die ausschließlich Motorenanlagen enthalten

Nr. gemäß 4. BImSchV	CODE- Nr. 4BImSchV	Kurz-Bezeichnung
1.4	0104.1	Verbrennungsmotoranl. für Arbeitsmaschinen >= 50 MW
1.4	0104A2	Verbrennungsmotoranl. für Arbeitsmaschinen 1 - < 50 MW für Heizöl EL, gasförmige Brennstoffe
1.4	0104BAA2	Verbrennungsmotoranl. für Energieerz. 1 - < 10 MW sonstige gasförmige Brennstoffe
1.4	0104BBB2	Verbrennungsmotoranl. für Energieerz. 1 - < 20 MW Heizöl EL, Erdgas, Flüssiggas, Pflanzenöl ...
8.1	0801B1	Verbrennungsmotoranlagen Altöl, Deponiegas >= 1MW
8.1	0801B2	Verbrennungsmotoranlagen Altöl, Deponiegas < 1MW
10.15	1015A1	Prüfstände für Verbrennungsmotoren >= 10 MW
10.15	1015A2	Prüfstände für Verbrennungsmotoren 0,3 - < 10 MW

Tabelle 3: 4. BImSchV-Nummern, die eventuell auch Motorenanlagen enthalten

Nr. gemäß 4. BImSchV	CODE- Nr. 4BImSchV	Kurz-Bezeichnung
1.1	0101.1	Feuerungsanlagen >= 50 MW feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe
1.2	0102B2	Feuerungsanlagen 10 - < 50 MW sonstige gasförmige Brennstoffe
1.2	0102C2	Feuerungsanlagen 20 - < 50 MW Heizöl EL, Pflanzenöle, Methanol, Ethanol, Erdgas, Flüssiggas
1.3	0103.1	Feuerungsanlagen >= 1 MW andere Brennstoffe
1.3	0103.2	Feuerungsanlagen 0,1 - < 1 MW andere Brennstoffe
1.13	0113.2	Generator- oder Wassergaserzeugung
8.1	0801A1	Therm. Abfallentsorgung für feste, flüssige, gefasste gasförmige Abfälle u. Deponiegas
8.1	0801A2	Abfackeln v. Deponiegas od. and. gasförmigen Stoffen

4.2.2 Anzahl der stationären genehmigungsbedürftige Motorenanlagen

In der aktuellen Datenbank sind die Daten aller 16 Bundesländer enthalten. Innerhalb dieser Länder wurde die Anlagenanzahl der Nummern der 4. BImSchV, die Motorenanlagen enthalten, abgefragt.

Tabelle 4: Anzahl von Anlagen nach ausgewählten motorenrelevanten Nummern der 4. BImSchV

Anlagen(Teile) in der EE-Datenbank für ausgewählte Nr. der 4. BImSchV																
Nr	Gesamt	BB	BE	BW	BY	HB	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
0101.1	678	52		153	1	21	84	15		159	32	26	22	40	59	14
0102B2	238	9		5		13	40	7		32	14	21	37	4	54	2
0102C2	641	28		119	3	27	95	18	2	170	8	16	22	53	52	28
0103.1	55	1		6	1	2	3	3	1	11	5	4	4	4	6	4
0103.2	40	5		6		6	5			4		6	1	4	3	
0104.1	6				1		1			1					3	
0104.2	0															
0104A2	156	7		10	18	5	2	2	23	42	17	5	1	3	16	5
0104B2	5	3				1							1			
0104BAA2	406	24	8	29	74	5	13	10	31	99	29	5	6	21	41	11
0104BBB2	763	42	20	102	137	5	61	30	66	97	7	55		51	30	60
0104C2	1								1							
0113.2	5							1		1				3		
0801A1	194	13		31		11	36	1	1	44	14	10	4	19	7	3
0801A2	193	18		36			16	14		9	6	14	6	49	9	16
0801B1	122	10		19	12		10	2	12	25	6	7		11	5	3
0801B2	129	2		14	28		10	5	14	15	15	2		14	5	5
1015A1	11			3	5			1	2							
1015A2	14			11		1		1			1					
Summe	**3657**	214	28	544	280	97	376	110	153	709	154	171	104	276	290	151

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 13.07.09: DB_EE2004_230109.MDB,
Abfragedatenbank: Stand 13.07.09: EE_Emissionserklärungen.mdb,
Abfrage: 2a_Anlagen_Anzahl_relevante_Anlagen_mitAN_gesamt)

Als nächster Schritt wurden aus dem in Tabelle 4 gezeigten Anlagenkollektiv diejenigen Anlagen identifiziert, die Motoren beinhalten. Dazu wurden die Anlagen der Nummern der 4. BImSchV

0101.1; 0102B2; 0102C2; 0103.1; 0103.2, 0113.2, 0801A1 und 0801A2 (also die Anlagennummern aus Tabelle 3 im Feld „Anlagenteilbezeichnung“) auf Hinweise durchsucht, dass es sich um Motorenanlagen handelt. Die Anlagen der anderen 4. BImSchV-Nummern (also Tabelle 2) wurden zunächst ungeprüft übernommen. Tabelle 5 zeigt die Anzahl so identifizierten Motoranlagen. Insgesamt sind innerhalb der durchsuchten Nummern aus Tabelle 3 von 2.069Anlagen (siehe entsprechende Zeilen in Tabelle 4) 110 Motorenanlagen eindeutig identifiziert worden. Diese Anlagen wurden in die weiteren Auswertungsschritte eingeschlossen.

Tabelle 5: Anzahl der gefundenen Anlagen, die Motoren beinhalten

Nr	Gesamt	BB	BE	BW	BY	HB	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
0101.1	9				1								1	2	5	
0102B2	19	3				1	1	1		5				1	7	
0102C2	29	3		5	2	1	4	2	2	2		1		2	5	
0103.1	2				1				1							
0103.2	24	3		4		2	3			4		6	1	1		
0104.1	6				1		1			1					3	
0104A2	156	7		10	18	5	2	2	23	42	17	5	1	3	16	5
0104B2	5	3				1							1			
0104BAA2	406	24	8	29	74	5	13	10	31	99	29	5	6	21	41	11
0104BBB2	764	42	20	102	137	5	61	30	66	97	7	55		51	31	60
0104C2	1								1							
0801A1	2			1							1					
0801A2	1													1		
0801B1	122	10		19	12		10	2	12	25	6	7		11	5	3
0801B2	129	2		14	28		10	5	14	15	15	2		14	5	5
1015A1	11			3	5			1	2							
1015A2	14			11		1		1			1					
	1700	97	28	198	279	21	105	54	152	290	76	81	10	107	118	84

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 13.07.09: DB_EE2004_230109.MDB,
Abfragedatenbank: Stand 13.07.09: EE_Emissionserklärungen.mdb,
Abfrage: 2a_Anlagen_Anzahl_relevante_Anlagen_Sortier_Motoren_final)

Tabelle 5: Anzahl der gefundenen Anlagen, die Motoren beinhalten

Die Datenbank enthält also unter den genannten Nummern der 4. BImSchV insgesamt 1.698 ausgewiesene Motorenanlagen. Wie im folgenden Kapitel erläutert wird, ist aber nur ein Teil dieser Anlagen im Sinne dieses Vorhabens auswertbar.

4.2.3 Auswertbare Motoranlagen

Die Emissionserklärungen zeigen prinzipiell keine brennstoffspezifischen Emissionen an (vgl. Kapitel 3). Für Motorenanlagen, die mit mehreren Brennstoffen betrieben werden, heißt das, dass die aufgeführten Emissionen nicht eindeutig einem Brennstoff zugeordnet werden können. Motoranlagen, die mit mehreren Brennstoffen betrieben werden, sind somit nicht auswertbar für dieses Vorhaben, in dem ja brennstoffspezifische Emissionsfaktoren abgeleitet werden sollen. Im weiteren Vorgehen wurden demzufolge ausschließlich Anlagen mit nur einem Brennstoff betrachtet. Von den 1.698 in Tabelle 5 aufgeführten Anlagen werden 1.198 mit exakt einem Brennstoff betrieben. In einer zusätzlichen Prüfung wurden diese 1.198 Motorenanlagen daraufhin untersucht, ob sie neben Motoren noch weitere Aggregate (in der Sprache der Emissionserklärungen: EBV, vgl. Abschnitt 3) enthalten, die technisch keine Motoren sind, z.B. Kessel, Fackeln oder Turbinen. Da der Brennstoffeinsatz ja nur auf dem Niveau der Anlage, nicht aber des technischen Aggregats / des

EBV. angegeben ist, kann hier keine spezifische Auswertung der Motorenbrennstoffströme erfolgen. Nach dem Ausschluss dieser Anlagen, die unterhalb einer motorspezifischen BImSchV-Nr. auch „motorenfremde“ Aggregate / EBV enthalten, verbleiben 960 Motorenanlagen. Diese Anlagen (exakt ein Brennstoff und technisch rein aus Motoren bestehend) werden im weiteren Projektverlauf als „auswertbare Motorenanlagen“ bezeichnet. Die Verteilung der auswertbaren Motorenanlagen über die Nummern der 4. BImSchV und Bundesländer zeigt Tabelle 6.

Tabelle 6: Anzahl der auswertbaren Motorenanlagen

Verteilung der auswertbaren Motorenanlagen mit einem Brennstoff auf Bundesländer															
Nr/Bundesländer	Gesamt	BB	BW	BY	HB	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH
0101.1	1											1			
0102B2	2													2	
0102C2	9	1	3		1	2	1	1							
0103.1	1			1											
0103.2	0														
0104.1	3			1		1								1	
0104A2	87	3	5	13	1	2	2	19	28	4		1	3	4	2
0104B2	3	2										1			
0104BAA2	213	6	21	45	3	4	3	12	65	16	1	2	6	29	
0104BBB2	462	21	81	111	5	39	13	33	85	4	5		28	15	22
0104C2	1							1							
0113.2	0														
0801A1	2		1							1					
0801A2	1												1		
0801B1	90	5	16	12		7	2	8	19	5	3		9	2	2
0801B2	107	1	14	26		7	3	12	10	12			13	4	5
1015A1	1			1											
1015A2	4		4												
Summe	987	39	145	210	10	62	24	86	207	42	9	5	60	57	31

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 13.07.09: DB_EE2004_230109.MDB,
Abfragedatenbank: Stand 13.07.09: EE_Emissionserklärungen.mdb,
Abfrage: 2a_Anlagen_Anzahl_relevante_Anlagen_nur-Motoren-sortiert-1BS_3ZB)

Unter den Nummern der 4. BImSchV 1015A1 und A2 wurden 25 Motorenprüfstände gezählt, davon werden insgesamt 4 Anlagen mit einem Brennstoff betrieben, so dass die Auswertung von Emissionen nach diesem Kriterium prinzipiell möglich ist. Nach Absprache mit dem UBA sollen Prüfstände prinzipiell getrennt von den anderen Motorenanlagen ausgewertet werden. Für die Prüfstände wurde in dieser Studie, aufgrund der begrenzten Datenlage, keine Auswertung durchgeführt.

In Tabelle 7 wird die Verteilung der auswertbaren Motoren gegenüber allen gefundenen Motorenanlagen gezeigt. Von 1700 identifizierten Motorenanlagen sind 987 verwertbare Datensätze mit einem Brennstoff zu entnehmen, deren Emissionen theoretisch berechnet werden können, und die innerhalb der angegebenen BImSchV-Nr. keine weiteren motorfremden Aggregate / EBV betreiben. Das entspricht 58 % aller Motorenanlagen aus der Datenbank.

Tabelle 7: Zusammenfassung der auswertbaren Motoranlagen nach Nr. der 4. BImSchV

4.BImSchV-Nr	Insgesamt gefundene Motoranlagen	Motoranlagen mit exakt einem Brennstoff	Auswertbare Motoranlagen (exakt ei Brennstoff und ohne „motorfremde“ Aggregate / EBV)	Anteil der auswertbaren Motoranlagen an den insgesamt gefundenen [% pro 4. BImSchV-Nr.]
0101.1	9	1	1	11%
0102B2	19	2	2	11%
0102C2	29	11	9	31%
0103.1	2	1	1	50%
0103.2	24	0	0	0%
0104.1	6	3	3	50%
0104A2	156	90	87	56%
0104B2	5	3	3	60%
0104BAA2	406	268	213	52%
0104BBB2	764	599	462	60%
0104C2	1	1	1	100%
0801A1	2	2	2	100%
0801A2	1	1	1	100%
0801B1	122	99	90	74%
0801B2	129	113	107	83%
1015A1	11	1	1	9%
1015A2	14	4	4	29%
Summe	**1.700**	1.199	987	58%

Tabelle 8 enthält eine Auflistung aller eingesetzten Brennstoffe der auswertbaren Motorenanlagen. Der am häufigsten eingesetzte Brennstoff innerhalb der auswertbaren Motoren ist Erdgas, gefolgt von Deponiegas, leichtem Heizöl /Diesel, Klärgas, Biogas, Grubengas und Dieselkraftstoff.

Tabelle 8: Verteilung der Brennstoffe innerhalb der auswertbaren Motoren

Stoff_nr	Stoff_Bez	Brennstoff Verteilung aller Motoranlagen mit exakt einem Brennstoff	Brennstoff Verteilung bei den auswertbaren Motoranlagen (exakt ein Brennstoff und ohne „motorfremde“ Aggregate / EBV)
929	Erdgas	623	501
972/8168	Deponiegas	248	231
922/9221 /9222	Heizöl El / Dieselkraftstoff	144	106
971	Klärgas	82	65
9629/974 /81813	Biogas	49	34
973	Grubengas	25	24
1	Methan	8	8
9999	Sonstiges	7	5
917	Fette und Oele, tier.+pflanzlich	4	4
012	Propan	2	2
013	Butan	2	2
9621	Ottokraftstoff, Super bleifrei	2	2
23345	FETTE U. OELE, REIN PFLANZLICH (Pflanzenöl)	1	1
9126	Fettsaeureester	1	1
Summe		**1.198**	**986**

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 13.07.09: DB_EE2004_230109.MDB,
Abfragedatenbank: Stand 21.04.09: EE_Emissionserklärungen.mdb,
Abfrage: Motorenanlagen_1.4_8.1B1-B2_10.15)

Im ZSE wird unterschieden zwischen dem Einsatz von Heizöl EL in „Gasmaschinen“ und dem Einsatz von Dieselkraftstoff in „Dieselmotoren“. Hier sind teilweise stark unterschiedliche Emissionsfaktoren hinterlegt.
Im Rahmen dieser Studie wurden alle Einträge in den Emissionserklärungen für Heizöl EL und Dieselkraftstoff gemeinsam als „Heizöl EL/ Diesel“ ausgewertet. Heizöl EL und Dieselkraftstoff sind (ggf. bis auf den Schwefelgehalt) im Wesentlichen chemisch identisch. Eine technische Unterscheidung der Verbrennungsaggregate in den Emissionserklärungen war nicht möglich. Es wurden auch keine signifikanten Unterschiede des Emissionsverhaltens zwischen den mit „Heizöl EL“ und den mit „Dieselkraftstoff“ deklarierten Anlagen festgestellt.
In der Praxis werden für diese Brennstoffe Diesel-(Selbstzündungs-)Motoren und Zündstrahlmotoren eingesetzt. Nach Erfahrung des Konsortialpartners Müller BBM wird Heizöl EL vereinzelt auch in großen Gasmotoren verbrannt.

Das UBA hatte in der Leistungsbeschreibung explizites Interesse an den Brennstoffen Holzgas, Pflanzenöl, Pflanzenölester und Biogas geäußert. Tabelle 8 zeigt 33 Anlagen mit dem Brennstoff Biogas (Stoff-Nr. 9629, 974 und 81813). Holzgas ist nirgends explizit als Brennstoff aufgeführt. Als Pflanzenöl können wahrscheinlich die Stoff-Nr. 917 (Fette und Öle, tierisch und pflanzlich) sowie 23345 (Pflanzenöl) mit insgesamt drei auswertbaren Anlagen interpretiert werden. Eine Anlage mit der Stoff-Nr. 9126 (Fettsäureester) könnte eventuell dem Brennstoff Pflanzenölester zuzuordnen sein.
Die Verteilung der in den auswertbaren Motorenanlagen eingesetzten Brennstoffe über die analysierten Nummern der 4. BImSchV ist in Tabelle 9 dargestellt. Der am häufigsten eingesetzte Brennstoff Erdgas wird vor allem in Motoren verwendet, die unter den 4. BImSchV-Nummern 0104BBB2 und 0104BAA2 genehmigt wurden.

Tabelle 9: Übersicht Verteilung der in den auswertbaren Motorenanlagen eingesetzten Brennstoffe auf die Nummern der 4. BImSchV aller eindeutigen Motoren, betrieben mit genau einem Brennstoff

Stoff_Bez	Stoff_nr	0101.1	0102 B2	0102 C2	0103.1	0103.2	0104.1	0104.2	0104 A2	0104 B2	0104 BAA2	0104 BBB2	0104 C2	0801 A1	0801 A2	0801 B1	0801 B2	1015 A1	1015 A2	Gesamt
Erdgas	929	0	2	8	0	0	0	0	27	1	92	370	1	0	0	0	0	0	0	501
Deponiegas	972/8168	0	0	0	0	0	1	0	22	0	12	1	0	1	1	89	104	0	0	231
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922/9221/9222	0	0	1	0	0	2	0	13	1	8	77	0	0	0	0	1	0	3	106
Klärgas	971	0	0	0	0	0	0	0	12	0	52	1	0	0	0	0	0	0	0	65
Biogas	9629/974/81813	0	0	0	0	0	0	0	2	1	28	2	0	0	0	0	1	0	0	34
Grubengas	973	1	0	0	0	0	0	0	9	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	24
Methan	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Sonstiges	9999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	5
Fette und Oele, rein tier.+pflanzlich	917	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4
Fette und Oele, rein pflanzlich (Pflanzenöl)	23345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Propan	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Butan	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
Fettsäureester	9126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Gesamt		1	2	9	1	0	3	0	87	3	213	461	1	2	1	90	107	1	4	986

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 13.07.09: DB_EE2004_230109.MDB,
Abfragedatenbank: Stand 19.03.09: EE_Emissionserklärungen.mdb,
Abfrage: Anlagen_Anzahl_BImSchNr_mit_GHSNr)

Die Summen der in den auswertbaren Motorenanlagen eingesetzten Brennstoffmengen sind in Tabelle 10 aufgeführt. Dort sind die in den Emissionserklärungen absolut angegebenen Zahlen in Tonnen pro Jahr aufgeführt. Zusätzlich sind die Mengen in Terajoule pro Jahr angegeben, um sie vergleichbar zu machen. Die Energiemenge berechnet sich aus der Mengeneinheit, hier in Tonnen pro Jahr, multipliziert mit dem unteren Heizwert, hier angegeben in Kilojoule pro Kilogramm. Soweit vorhanden, wurden für diese Umrechnung die in den Emissionserklärungen angegebenen Heizwerte herangezogen. Da die angegebenen Heizwerte der eingesetzten Brennstoffe auch innerhalb derselben Brennstoffkategorie teilweise stark schwanken, sind die berechneten Brennstoffmengen in TJ als Orientierungswerte zu verstehen, die im weiteren Vorgehen hinsichtlich ihrer Plausibilität geprüft werden. Ziel der weiteren Auswertungen sind plausible, geprüfte Werte, die in die Analyse einfließen können.

Tabelle 10: Brennstoffmengen der auswertbaren Motorenanlagen

Stoff_Bez	Stoff_nr	Summe Brennstoff [t/a]	Summe Brennstoff [TJ/a]	mittlerer Heizwert [kJ/kg]
Biogas	9629/974/8181 3	73.393	1.518	20.686
Butan	13	757	33	43.100
Deponiegas	972/8168	1.873.952	56.427	30.111
Erdgas	929	1.043.519	33.920	32.506
Fette und Öle, rein pflanzlich (Pflanzenöl)	23345	0		
Fette und Öle, rein tier.+ pflanzlich	917	880	31	35.720
Grubengas	973	358.985	10.982	30.592
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922/9221/9222	29.355	1.040	35.444
Klärgas	971	2.357.246	80.594	21.561
Methan	1	18.223	625	25.909
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	2.392	51	21.500
Propan	12	288	16	46.216
Sonstiges	9999	4.695	138	29.424

4.3 Auswertung der Emissionsdaten – Beispiel NO_x aus Erdgasfeuerungen

Beispielhaft für das methodische Vorgehen bei der Analyse der Emissionserklärungen wird an dieser Stelle ausführlich die Auswertung der NO_x – Emissionsdaten der auswertbaren Motorenanlagen für den Brennstoff Erdgas beschrieben. Für alle anderen Kombinationen von Brennstoff und Schadstoff wurde entsprechend vorgegangen. Alle Ergebnisse werden in Kapitel 5.1 dargestellt.

4.3.1 Prüfung paralleler Stoffnummern

In den Emissionserklärungen sind den Stickoxid – Emissionen die Stoffnummern 7991 (NO_x als NO_2), 109 (NO_2) oder 108 (NO) zugeordnet. Für die Auswertungen sind nur die Daten der Anlagen nutzbar, die ihre Emissionen eindeutig und plausibel den Stoffnummern zuordnen, sonst kann Doppelzählung für diesen Schadstoff nicht ausgeschlossen werden: Für jede Quelle muss also **entweder** eine Angabe für den Schadstoff 7991 (NO_x als NO_2) angegeben sein **oder** eine Angabe für sowohl Schadstoff 109 (NO_2) als auch für Schadstoff 108 (NO). Alle anderen Kombinationen sind nicht plausibel. Eine Anlage gilt nur dann für NO_x als auswertbar, wenn sämtliche Quellen / EBV dieses Kriterium erfüllen. **Von den insgesamt 960 auswertbaren Motorenanlagen sind nach dem Ausschluss solcher Unplausibilitäten 858 Anlagen bezüglich ihrer NOx-Emissionen analysierbar**.

Tabelle 11: Verteilung der Brennstoffarten innerhalb der Motoren mit eindeutigen NOx Stoffnummern

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen mit plausiblen NO_x Stoffnummern
Erdgas	929	468
Deponiegas	972/8168	185
Heizöl EL /Dieselkraftstoff	922/9221/9222	98
Klärgas	971	54
Biogas	9629/974/81813	30
Grubengas	973	24
Methan	1	6
Sonstiges	9999	4
Fette und Oele, rein tier.+ pflanzlich	917	3
Propan	12	2
Butan	13	2
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	2
Fettsäureester	9126	1
Gesamt		882

Das Problem der parallelen Stoffnummern mit der Notwendigkeit stöchiometrisch umzurechnen fällt vor allem bei NO_x ins Gewicht. Vergleichbare Prüfungen wurden auch für die anderen Schadstoffe durchgeführt. Bei $SO_x = SO_2 + SO_3$ waren die Angaben zu SO_3 marginal.

Die Berechnung der anlagenspezifischen Emissionsfaktoren erfolgte derart:
Die Jahresfrachten aller aufgeführten NO_x-Emissionen pro Aggregat / EBV wurden pro Anlage addiert. Die Summen von NO-Emissionen wurden vorher stöchiometrisch zu NO_2 umgerechnet, eine Vergleichbarkeit ist damit gewährleistet. Der Emissionsfaktor [kg/t] pro Anlage berechnet sich aus Division der über die Anlage aufsummierten Jahresfrachten der Emission [kg/a] durch den für die Anlage angegebenen Massenstrom des Brennstoff [t/a]. Über den pro Anlage individuell angegeben Heizwert erfolgen die Umrechnung von Brennstoff in TJ/a und die Berechnung des Emissionsfaktors in kg/TJ.

4.3.2 Prüfung der Heizwerte der Brennstoffangaben

Die angegebenen Heizwerte[4] für Erdgas in den Emissionserklärungen schwanken massiv. Als plausibel wurden Angaben zwischen 32.000 – 50.000 kJ/kg zugelassen, Anlagen mit davon abweichenden Werten wurden von der Analyse ausgeschlossen. Tabelle 12 dokumentiert die für alle Brennstoffe benutzten Plausibilitätsgrenzen:

Tabelle 12: benutzte Plausibilitätsgrenzen für die unteren Heizwerte

Brennstoff	H_u [kJ/kg] untere Grenze	H_u [kJ/kg] obere Grenze
Erdgas	32.000	50.000
Deponiegas	9.317	19.965
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	29.890	46.543
Klärgas	9.491	31.186
Biogas	16.275	53.475
Grubengas	9.450	31.050
Pflanzenöl	25.900	55.500
Pflanzenölester	25.900	55.500

4.3.3 Emissionsfaktorauswertung NO_x – Erdgas ohne weitergehende Plausibilisierung

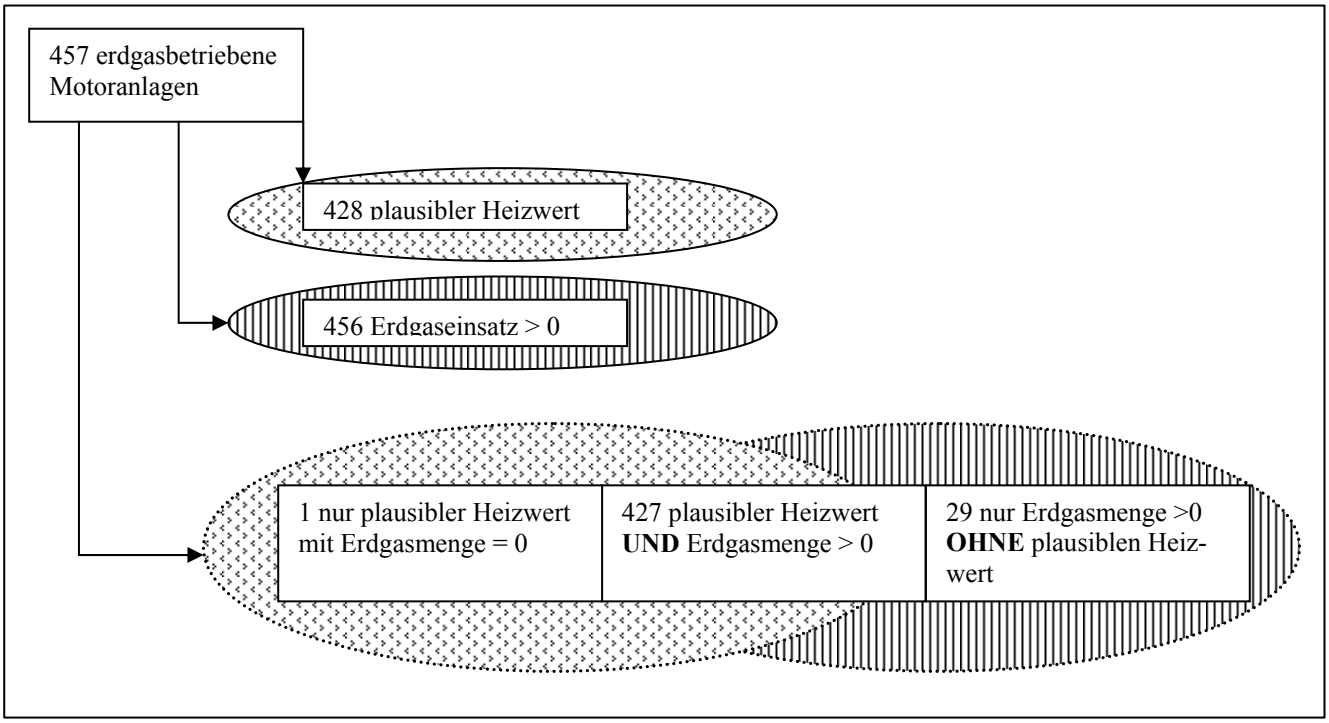
Von den 960 auswertbaren Motoranlagen verfügen insgesamt 858 Anlagen über plausible Stoffnummernzuweisung für ihre Stickoxidemissionen. Davon werden 457 Motorenanlagen mit dem Brennstoff Erdgas betrieben. Die Verteilung der unterschiedlichen Ermittlungsarten der NO_x-Jahresemissionsfrachten innerhalb dieser 457 Anlagen ist nachfolgend aufgeführt:

Emission berechnet	(C)	178	Anlagen
Emission gemessen	(M)	216	Anlagen
Emission geschätzt	(E)	10	Anlagen
Emission gemessen und/oder geschätzt und/oder berechnet	(Mix)	14	Anlagen
Keine Ermittlungsart angegeben	(k.A.)	39	Anlagen

Von 457 erdgasbetriebenen Motorenanlagen verfügen 427 über einen plausiblen Heizwert zwischen 32 – 50 MJ/kg und einen angegebenen Erdgaseinsatz größer Null. Abbildung 1 stellt die Systematik der vorgenommenen Sortierung dar.

[4] In den Emissionserklärungen sind die unteren Heizwerte einzutragen, die Schwankungsbreite der eingetragenen Heizwerte von Erdgas liegt zwischen 32 und 50 MJ/kg. Bei den Heizwerten kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch obere Heizwerte (Brennwerte) verwendet worden sind. Der Unterschied zwischen oberem und unterem Heizwert liegt beispielsweise für Erdgas bei 10%, dies gilt als Unsicherheitsfaktor.

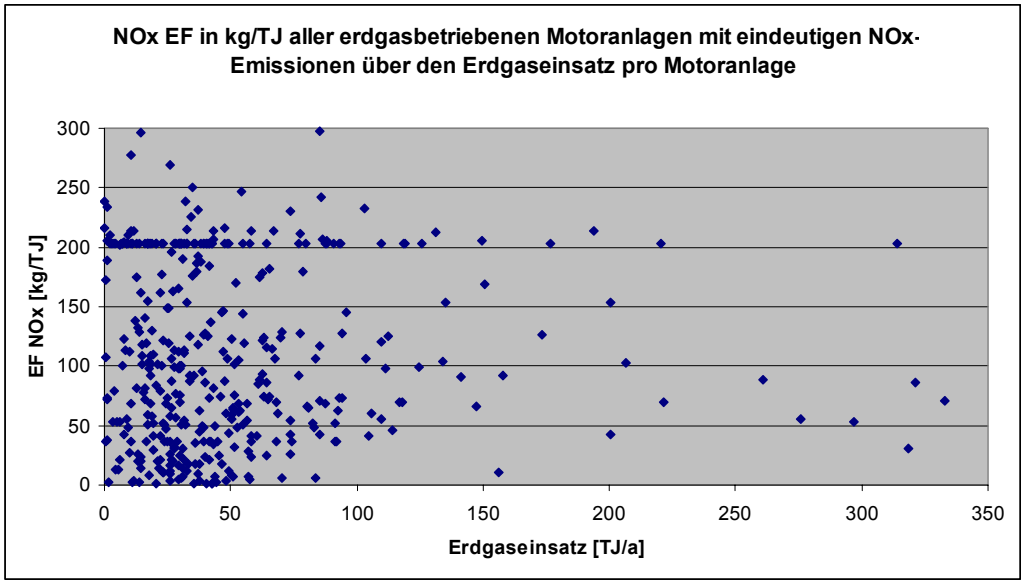
Abbildung 1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Sortierung der erdgasbetriebenen



Motorenanlagen mit plausiblen Heizwerten und einer Erdgasmenge > 0

Der Brennstoffeinsatz und die Stickoxid-Emissionsmengen sind in diesen 427 Fällen noch keiner weiteren Plausibilitätsprüfung unterzogen. Die berechneten Emissionsfaktoren aus Emission geteilt durch Brennstoffeinsatz sind in Abbildung 2 über den Brennstoffeinsatz pro Anlage in TJ/a aufgetragen.

Abbildung 2: NO_x-Emissionsfaktor in kg/TJ aller erdgasbetriebenen Motoranlagen mit eindeutigen Stickoxidemissionen, plausiblen Heizwerten und Erdgaseinsatz größer Null, über den Erdgaseinsatz pro Motoranlage



In Abbildung 2 ist kein Zusammenhang zwischen eingesetzter Erdgasmenge pro Anlage und den NO_x-Emissionsfaktoren erkennbar. Im Diagramm ist zu sehen, dass die Mehrzahl der abgebildeten 427 Motorenanlagen Erdgaseinsätze kleiner 100 TJ/a haben mit NO_x-Emissionsfaktoren unterhalb 200 kg/TJ.

Abbildung 3: NO_x-Emissionsfaktoren über der kumulierten Erdgasmenge aller Motoranlagen mit eindeutigen Stoffnummerzuweisungen für Stickoxid

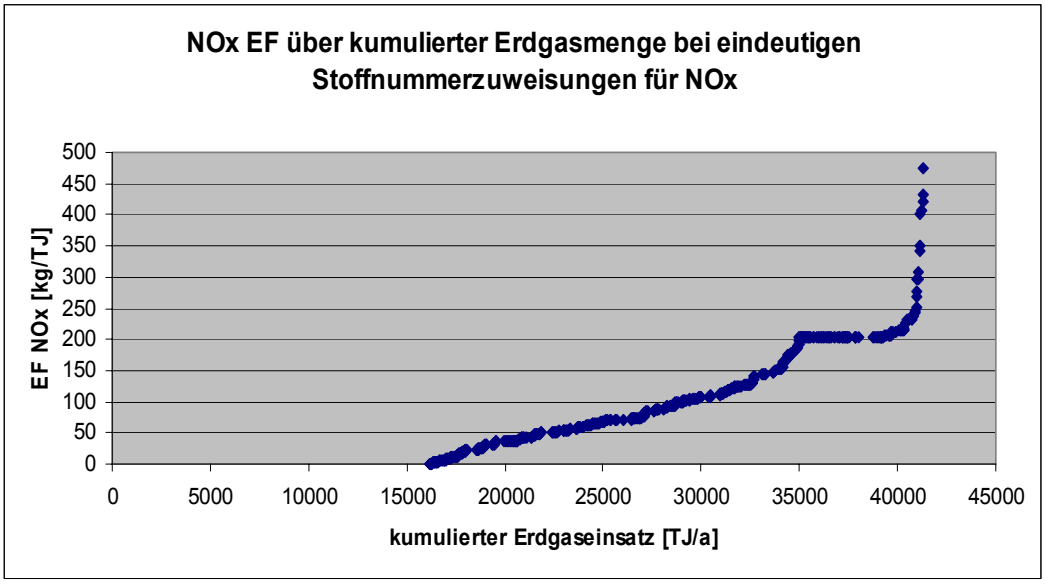


Abbildung 3 zeigt die kumulierten Erdgasmengen dieser 427 Motoranlagen aus Abbildung 2 mit den dazugehörigen Emissionsfaktoren. Die Fläche unter der abgebildeten Kurve entspricht dann der Summe aller Stickoxid-Emissionen der dargestellten Motoranlagen. Die Schwankungsbreite der Emissionsfaktoren ist sehr hoch, sie liegen zwischen 0,1 kg/TJ und 911 kg/TJ. In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass die Motoranlage mit dem geringsten Emissionsfaktor einen Erdgaseinsatz von ca. 16.000 TJ/a hat. Außerdem ist deutlich ein Plateau bei ca. 200 kg/TJ zu erkennen. Eine nähere Analyse der Daten zeigt, dass die hier zu Grunde liegenden Emissionsdaten fast vollständig nicht aus Messungen, sondern aus Berechnungen stammen.
Drei weitere Kriterien wurden zur Plausibilisierung und damit Einschränkung der auszuwertenden Anlagen entwickelt:

- Auswahl der Ermittlungsart (Kapitel 4.3.4)
- Konsistenzprüfung der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5)
- Konsistenzprüfung der Brennstoffmengen (Kapitel 4.3.6)

4.3.4 Prüfung der Ermittlungsarten der Emissionsdaten

In den Emissionserklärungen soll für jede einzelne erklärte Emissionsfracht (d.h. pro Schadstoff und Quelle / EBV) angegeben werden, wie sie ermittelt wurde, dabei wird im Wesentlichen zwischen Messung, Berechnung und Schätzung unterschieden. Für den Zweck der Emissionserklärung sind diese Ermittlungsarten als gleichwertig eingestuft. Für den Zweck dieser Auswertung sind allerdings auf Messwerten basierende Emissionsdaten zu bevorzugen, weil berechnete und geschätzte Werte in der Regel auf Literaturwerten beruhen können und somit keinen Gewinn an Erkenntnis bedeuten.

In allen auszuwertenden Anlagen wurden nun die Ermittlungsarten überprüft. Auf dieser Basis wurden die Anlagen in fünf Klassen eingeteilt:

M = Messung = **Alle** Emissionsdaten des betreffenden Schadstoffs dieser Anlage basieren auf Messungen.
E = Schätzung = **Alle** Emissionsdaten des betreffenden Schadstoffs dieser Anlage basieren auf Schätzungen
C = Berechnung = **Alle** Emissionsdaten des betreffenden Schadstoffs dieser Anlage basieren auf Berechnungen
k.A. = Es gibt keine Angaben zur Ermittlungsart der Emissionsdaten des betreffenden Schadstoffs
Mix = Die Anlage enthält berechnete, geschätzte, gemessene und/oder undokumentierte Werte des betreffenden Schadstoffs aus verschiedenen Quellen / EBV

Für die Auswertung werden im Folgenden diejenigen Anlagen bevorzugt, deren sämtliche NO_x-Emissionsangaben mit der Ermittlungsart „Messung“ gekennzeichnet sind.

4.3.5 Konsistenzprüfung der Emissionsfrachten

Zur Prüfung der Plausibilität der in den Emissionserklärungen eingetragenen Emissionsfrachten wurden die ebenfalls in den Erklärungen vorliegenden Angaben zu Volumenstrom, Konzentration und Gesamtstunden pro EBV herangezogen. Die angegebenen Emissionsmengen [kg/a] pro Quelle/EBV müssen sich rechnerisch ergeben als Produkt aus den genannten Größen (vgl. Gleichung 1):

Gleichung 1: Berechnungsansatz zum Test der Plausibilität der angegebenen Emissionsmengen

$$\text{Emissionsmenge [kg/a]} = \frac{Volumenstrom[m^3/h] \times Konzentration[mg/m^3] \times Gesamtstunden[h/a]}{10^6}$$

Für das Bestehen dieser Konsistenz wurde für alle Schadstoffe eine Abweichung von 5 % zugelassen. Spätere Sensitivitätstests zeigen, dass die Anlagen in der Regel diesen Konsistenztest entweder sehr genau erfüllen oder ihn mit sehr hohen Abweichungen oder aufgrund fehlender Daten nicht erfüllen (vgl. Kapitel 4.3.9).

Beispiel NO_x – Erdgas:
Konzentration und Emissionsfracht sind auf Niveau der Quelle (verknüpft mit EBV) angegeben. Auf dem Niveau der emissionsverursachenden Vorgänge (EBV) sind Gesamtstunden[5] (und Volumenstrom eingetragen. Von insgesamt 427 erdgasbetriebenen Motorenanlagen mit plausiblen Heizwerten und Erdgasmengen größer Null (siehe Abbildung 5) haben 284 plausible Stickoxidmengenangaben und gelten damit als konsistent. Von diesen 284 konsistenten Emissionsmengen, wurden 178 vollständig[6] als Messungen angezeigt. Eine Übersicht der Plausibilitätsprüfung für die Emissionswerte und ihre Ermittlungsarten zeigt Tabelle 13.

[5] Begriff in den Emissionserklärungen: „Gesamtdauer“ Die Gesamtdauer ist nicht mit den Betriebsstunden auf Anlagenniveau gleichzusetzen. Denn „Betriebsstunden“ sind pro Anlage / Anlagenteil und „Gesamtstunden“ für jeden EBV angegeben. Bei Vergleich dieser Daten in den Emissionserklärungen lässt sich im Übrigen keine einheitliche Handhabung erkennen, ob und wie die „Betriebsstunden“ der Anlage mit den Gesamtstunden der EBV zusammenhängen.
[6] Da ja pro Anlage mehrere Quellen / EBV möglich sind, kommt es auch vor, dass z.B. eine Quelle als „gemessen“ deklariert ist und die andere als „berechnet“. In solchen Fällen wurden die betroffenen Anlagen weder unter „gemessen“ noch unter „berechnet“, sondern unter „Mix“ analysiert.

Tabelle 13: Ergebnisse des Konsistenztests der Stickoxidemissionsmengen bei Erdgasfeuerungen und ihre Ermittlungsarten

Ermittlungsart der Stickoxid-Emissionen	**Erdgasbetriebene Motorenanlagen mit plausiblen Heizwert und Erdgaseinsätzen >0**	**konsistente Emissionsangaben**
Messungen	199	183
Berechnungen	170	87
Schätzungen	9	9
Mix	14	8
Keine Angaben	36	0

4.3.6 Konsistenzprüfung der Brennstoffmengen

Die Angaben zur Brennstoffmenge liegen auf dem Niveau eines Anlagenteils vor. Die Emissionsangaben hingegen liegen auf EBV-Ebene. Das heißt, die angegebenen Brennstoffmengen müssen die summierten Inputs aller EBV sein. Aus den Angaben der Emissionserklärungen ist nicht zu entnehmen, ob die Emissionen (z.B. NO_x) für sämtliche EBV einer Anlage angegeben sind. Wenn nicht für alle EBV Emissionsangaben vorhanden sind, passt die berechnete Emissionssumme nicht zur angegebenen Brennstoffsumme. Aus diesen Angaben ergäbe sich ein falscher Emissionsfaktor. Des Weiteren kann die Brennstoffmenge falsch sein, weil z.B. ein Übertragungs- oder Größenordnungsfehler beim Brennstoffeinsatz vorliegt, weil die Umrechnung in die für Gase unübliche Einheit „Kilogramm“ fehlerhaft war und/oder weil der angegebene Heizwert [kJ/kg] falsch war.
Um fehlerhafte Emissionsfaktoren auf Anlagenebene zu vermeiden, wurde die Brennstoffmenge mithilfe des spezifischen Rauchgasvolumens plausibilisiert. Das spezifische Rauchgasvolumen eines Brennstoffes ist in der Einheit [m³/TJ] eine von der genauen Brennstoffzusammensetzung relativ robuste Größe, die aber in hohem Maße vom Sauerstoffgehalt im Abgas abhängt.
Auf Ebene der einzelnen EBV sind die absoluten Rauchgasvolumina leicht berechenbar (Gleichung 2):

Gleichung 2: Berechnung des jährlichen Rauchgasvolumens pro EBV

$$Rauchgasvolumen[m^3/a] = Rauchgasvolumen[m^3/h] \times Gesamtstunden[h/a]$$

Die Summe aller Rauchgasvolumina pro Anlage kann nun mit der Brennstoffmenge ins Verhältnis gesetzt werden (Gleichung 3).

Gleichung 3: Berechnung des spezifischen Rauchgasvolumens pro Anlagenteil

$$spezifisches Rauchgasvolumen[m^3/TJ] = \frac{Rauchgasvolumen[m^3/a]}{Brennstoffmenge[TJ/a]}$$

Es ergibt sich rechnerisch pro Anlage eine Kennzahl mit der Einheit eines spezifischen Rauchgasvolumens, das nun mit Literaturwerten verglichen werden kann: Das spezifische Rauchgasvolumen für die Verbrennung von Erdgas liegt bei 0,272 m³/MJ bei Normbedingungen und ist für drei Prozent Bezugs-Sauerstoffgehalt angegeben (Quelle: EEA Technical report No 4/2008). Das spezifische Rauchgasvolumen schwankt nur sehr wenig bei verschiedenen Erdgaszusammensetzungen,

sofern es in der Einheit m³/MJ ausgedrückt ist[7]. Die Umrechnung auf den für Motoren laut TA Luft vorgeschriebenen Bezugs-Sauerstoffgehalt von 5 % erfolgt nach Gleichung 4.

Gleichung 4: Umrechnung des Rauchgasvolumens bei verschiedenen Sauerstoffbezugswerten im Abgas (nach TA Luft)

$$\dot{V}_B[m^3/TJ] = \left(\frac{(21 - O_B[\%])}{(21 - O_M[\%])}\right) \times \dot{V}_M[m^3/TJ]$$

mit
V_B= Rauchgasvolumen Bezugswert
V_M= Rauchgasvolumen Messwert
O_B= Sauerstoffgehalt Bezugswert
O_M= Sauerstoffgehalt Messwert

Umgerechnet auf den für stationäre Motoren laut TA Luft vorgeschriebenen Sauerstoffgehalt von fünf Prozent entspricht dies einem Basiswert von 0,306 m^3/MJ. Alle abgasbezogenen Daten in den Emissionserklärungen sollen korrigiert auf Normbedingungen (Temperatur & Druck) sowie auf den Bezugssauerstoffgehalt der TA-Luft angegeben werden, für Motoren also fünf Prozent O_2 im Abgas[8].
Die nach Gleichung 3 berechneten spezifischen Rauchgasvolumina jeder Anlage werden mit dem genannten Basiswert verglichen. Im Test wird bei Erdgas eine Toleranzgrenze von 24 % oberhalb des Basiswertes zugelassen. Die obere Grenze entspricht dann 0,379 m^3/MJ, das entspräche rechnerisch einem Sauerstoffgehalt von ca. acht Prozent im Rauchgas. Die untere Toleranzgrenze wurde auf den Wert von 0,272 m^3/TJ festgelegt, das entspricht einem Sauerstoffgehalt von drei Prozent, dem Normbezugswert für Erdgas-Kesselfeuerungen. Die festgelegte Toleranzgrenze von 0,272 m^3/MJ liegt damit ca. elf Prozent unterhalb des Basiswertes.
Wegen der bereits dargelegten vielfältigen Einflussfaktoren auf des Ergebnis von Gleichung 3 sollte aus dieser Rechengröße nicht auf den tatsächlichen Sauerstoffgehalt im Abgas der betreffenden Anlage geschlossen werden!

Die Sensitivität der Setzung der Abschneidekriterien auf die Ergebnisse werden in Kapitel 4.3.9 untersucht.

[7] Spezifische Rauchgasvolumina der Einheit m³/(m³ Erdgas) wären deutlich stärker von der konkreten Erdgaszusammensetzung abhängig.
[8] Dies ist auch gängige Praxis für alle Messberichte, die den Eintragungen ggf. zu Grunde liegen.
Allerdings liegt auch hier eine weitere Fehlerquelle der EE-Daten: Evtl. wurde aus den EE nicht der Wert mit dem richtigen Bezugssauerstoffgehalt eingetragen (aus den Messberichten). Des Weiteren ist zu beachten, dass bei Daten mit Bezugssauerstoffgehalt eigentlich nicht die Konzentration, sondern der Massenstrom (kg/h) die konstante Größe ist: Bei Korrektur einer Konzentration auf den Bezugssauerstoffgehalt ist auch gleichzeitig der Volumenstrom anzupassen, so dass das Produkt gleich bleibt. In der Praxis wird aber der Volumenstrom nicht immer angepasst.

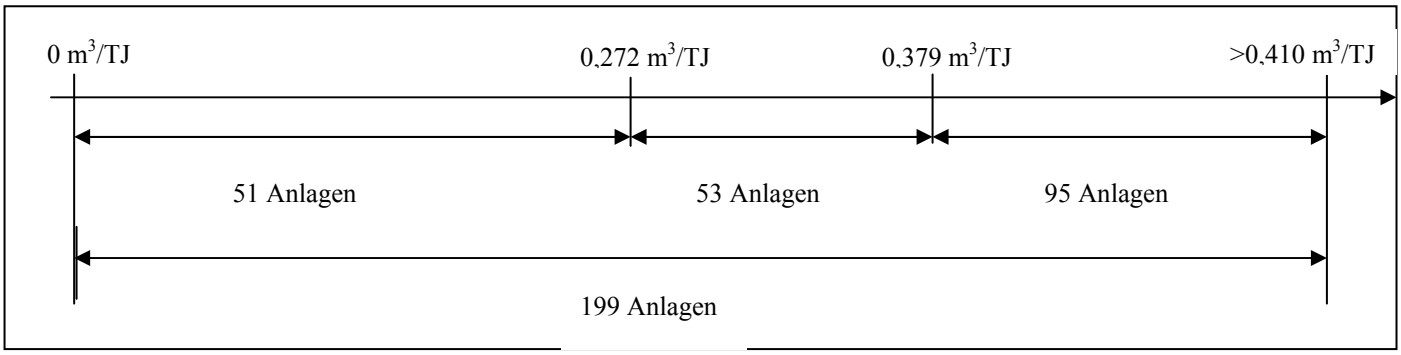
Tabelle 14 dokumentiert für alle Brennstoffe die benutzten spezifischen Rauchgasvolumina und Abschneidegrenzen:

Tabelle 14: Benutzte spezifische Rauchgasvolumina (bei 5% O_2) und Abschneidekriterien

Brennstoff	Spez. RGV [m³/GJ] Basiswert	untere Grenze [m³/GJ]	obere Grenze [m³/GJ]
Erdgas	306	272	379
Deponiegas	306	272	379
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	314	279	389
Klärgas	306	272	379
Biogas	306	272	379
Grubengas	306	272	379
Pflanzenöl	314	279	389
Pflanzenölester	314	279	389

Das Ergebnis der Konsistenzprüfung des spezifischen Rauchgasvolumens zeigt Abbildung 4. Der durchgehende Pfeil unterteilt die pro Anlage berechneten spezifischen Rauchgasvolumina in die Bereiche von 0-0,271 m^3/TJ, 0,272 – 0,379 m^3/TJ und 0,380 m^3/TJ – 0,410 m^3/TJ. Betrachtet werden nur die Motoranlagen mit **gemessenen** NO_x-Emissionen und plausiblen Heizwerten. Das gilt für 199 Motoranlagen, die Plausibilität der Emissionen (vgl. Kapitel 4.3.5) ist hier noch nicht mit inbegriffen.

Abbildung 4: Ergebnisdarstellung der Konsistenzprüfung des spezifischen Rauchgasvolumens

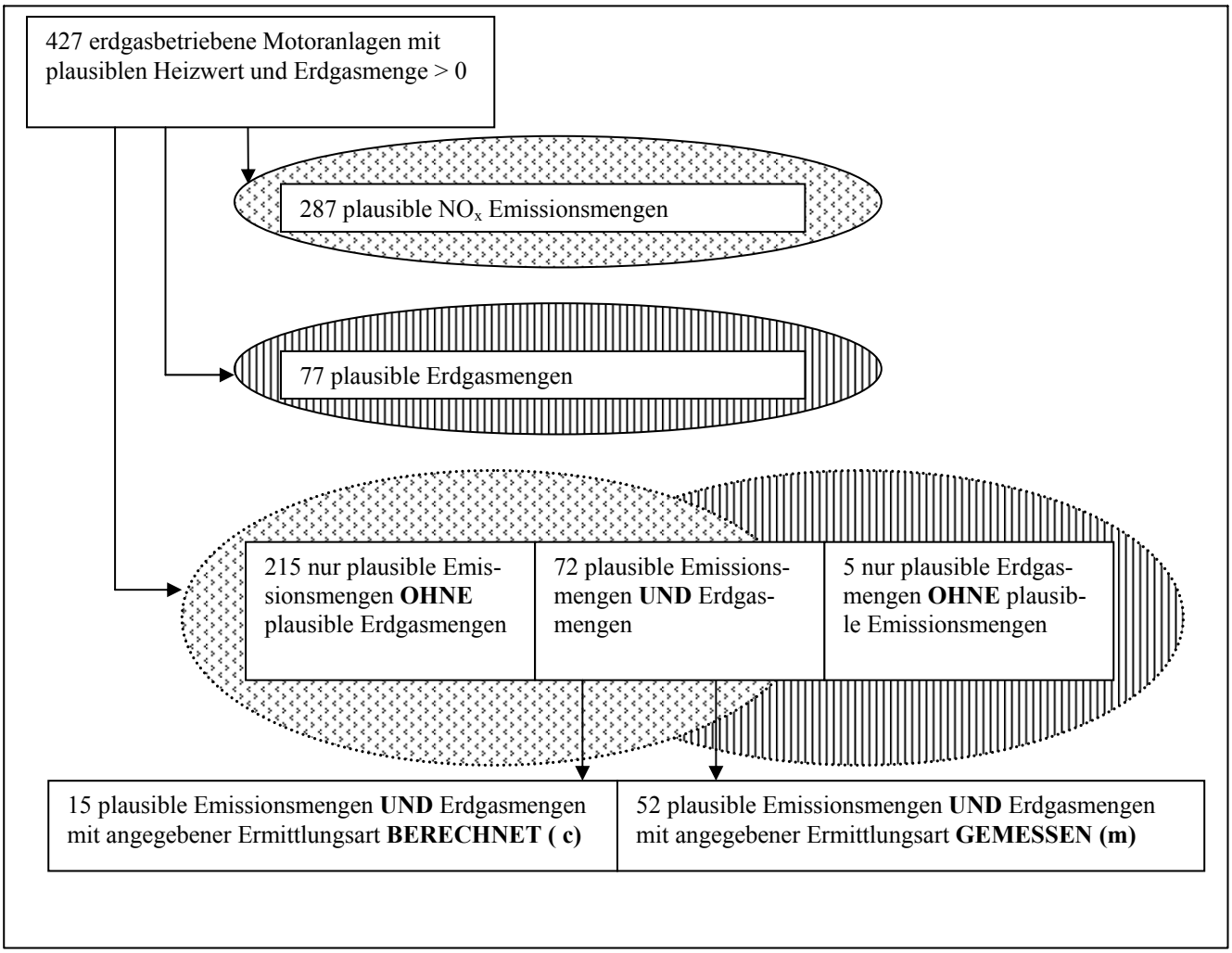


Bei 51 Anlagen ist das spezifische Rauchgasvolumen kleiner 0,272 m^3/MJ, sie sind unplausibel. Bei diesen Anlagen könnten, falls die Brennstoffmenge richtig angegeben war, z.B. nicht alle NO_x-Emissionen aufgeführt worden sein. Für insgesamt 95 Anlagen errechnet sich ein spezifisches Rauchgasvolumen oberhalb 0,379 m^3/MJ, entsprechend einem Sauerstoffgehalt im Abgas größer acht Prozent, auch sie werden als unplausibel gewertet. Nur 53 Motoranlagen erfüllen alle genannten Bedingungen der Plausibilität ihrer Brennstoffangabe, denn sie weisen ein spezifisches Rauchgasvolumen zwischen 0,272 und 0,379 m^3/MJ auf, das heißt, ihr Sauerstoffgehalt im Abgas liegt rechnerisch zwischen drei und acht Prozent. Eine alternative Interpretationsweise der Abweichung des pro Anlage berechneten spezifischen Rauchgasvolumens vom Sollwert besteht natürlich auch darin, dass die Angaben zum Brennstoffeinsatz, also zur Masse des Brennstoffes (für Erdgas ohnehin eine nicht sehr übliche Maßeinheit) und/oder der untere Heizwert fehlerbehaftet waren. Von diesen 53 Motoranlagen mit plausiblen spezifischen Rauchgasdaten und damit plausiblen Brennstoffangaben, haben im Übrigen auch 52 Anlagen plausible Emissionsfrachten gemäß Kapitel 4.3.5.

4.3.7 Emissionsfaktorauswertung NO_x – Erdgas mit weitergehender Plausibilisierung

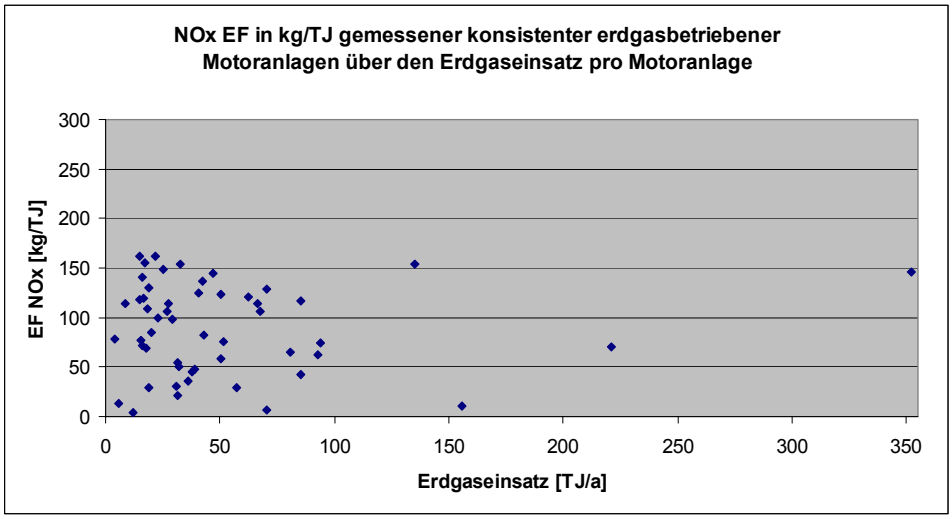
Abbildung 5 zeigt im Ergebnis 72 verbleibende Motoranlagen nach den Plausibilitätstests von Stickoxid-Emissionsmengen und Erdgasmengen von den 427 Motoranlagen aus Abbildung 1. Davon haben 52 Motoranlagen ihre NO_x-Emissionen als Messwerte (also über die Ermittlungsart „gemessen – m“) angegeben. Diese 52 erdgasbetriebenen Motoranlagen sind konsistent in Emissions- und Erdgasmengenangaben und werden im weiteren Projektverlauf „gemessene konsistente Motoranlagen“ für den Brennstoff Erdgas genannt. 15 Motoranlagen weisen ihre Stickoxid-Emissionen als berechnet aus, sie werden hier „berechnete konsistente Motoranlagen“ für den Brennstoff Erdgas genannt.

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Sortierung der gemessenen und berechneten konsistenten erdgasbetriebenen Motoranlagen



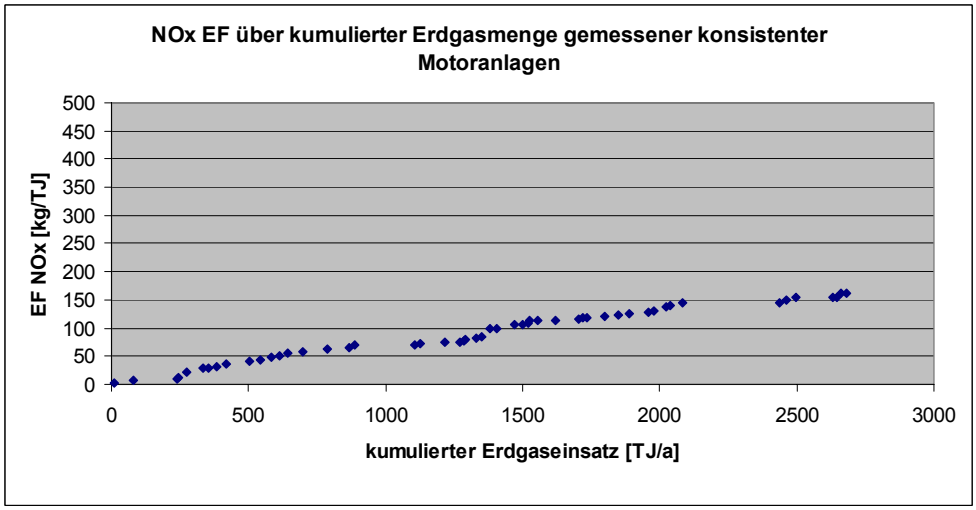
Die spezifischen NOx-Emissionsfaktoren der gemessenen konsistenten Motoranlagen über der Erdgasmenge pro Anlage sind in Abbildung 6 dargestellt. Auch bei diesen Datensätzen ist kein Zusammenhang zwischen der Menge des Erdgaseinsatzes und dem NOx-Emissionsfaktor erkennbar. Beim größten Teil der konsistenten gemessenen Datensätze ist der Erdgaseinsatz pro Anlage kleiner als 100 TJ/a. Der Emissionsfaktor aller 52 abgebildeten Motoranlagen liegt größtenteils unterhalb von 150 kg/TJ.

Abbildung 6: NO_x-Emissionsfaktor in kg/TJ der gemessenen konsistenten Motoranlagen über den Erdgaseinsatz pro Motoranlage in TJ/a



In Abbildung 7 sind die Emissionsfaktoren der 52 gemessenen konsistenten Motoranlagen über der kumulierten Erdgasmenge aufgetragen. Die in Abbildung 3 enthaltene große Anlage mit dem hohen Erdgasverbrauch und dem niedrigen Emissionsfaktor ist als unplausibel ausgeschieden. Die Abstände der Datenpunkte voneinander stellen die Erdgaseinsätze der Einzelanlagen dar. Demzufolge sind in der betrachteten Menge ca. vier Motoranlagen mit vergleichsweise hohen Brennstoffeinsätzen enthalten.

Abbildung 7: NO_x-Emissionsfaktoren über der kumulierten Erdgasmenge der gemessenen konsistenten Motoranlagen



Die Berechnung der Emissionsfaktoren erfolgt spezifisch pro Motoranlage. Aus den Datenreihen der spezifischen Emissionsfaktoren wurden Median, arithmetisches Mittel und die Standardabeichung ermittelt (Berechnung siehe Kapitel 4.3.9 Seite 37).Der arithmetische Mittelwert der spezifischen Emissionsfaktoren liefert als Ergebnis einen mittleren Emissionsfaktor, der jede Anlage unabhängig von ihrer Größe gleich gewichtet. Das heißt, bei einer sehr heterogenen Größenverteilung geht die Anlagengröße nicht in den arithmetisch gebildeten Emissionsfaktor ein. Der mittlere arithmetische Emissionsfaktor ist daher ungeeignet, die „realen“ durchschnittlichen Emissionen von Motoranlagen verschiedener Größenordnungen zu ermitteln. Deswegen wurde gleichzeitig zum

arithmetischen mittleren Emissionsfaktor der Emissionsfaktor aus der Summe der Emissionen und der Erdgasmenge der zu analysierenden Motorenanlagen berechnet. Daraus ergibt sich ein Emissionsfaktor pro eingesetztem Terajoule Erdgas, unabhängig von der spezifischen Anlagengröße. Ermittelt aus der „realen" Emissionsmenge bildet dieser Emissionsfaktor ein besseres Instrument zur Bestimmung zukünftiger Emissionsentwicklungen als ein arithmetisches Mittel der spezifischen Emissionsfaktoren.
Der Emissionsfaktor berechnet aus der Gesamtsumme Emissionen und Erdgasmenge, im folgenden „Summen-Emissionsfaktor" genannt, ist das Ergebnis der hier vorliegenden Analyse zur Berechnung von Emissionsfaktoren.
Der somit ermittelte Summenemissionsfaktor für NO_x-Emissionen aus erdgasbefeuerten stationären Motoren liegt bei 91 kg/TJ. Weitere zentrale Aspekte der Auswertung zu NO_x aus Erdgas werden in Kapitel 4.3.13 zusammengefasst.

4.3.8 Prinzip der Betrachtung von Unsicherheiten

Bei der Betrachtung von Unsicherheiten muss man prinzipiell unterscheiden zwischen
a) der **Streuung** der Emissionsfaktoren der analysierten **Einzelanlagen** und
b) der **Unsicherheit** des gefundenen **Mittelwertes**.

Die **Streuung** der Einzelwerte dürfte – trotz aller potenziellen Fehlerquellen – in erster Linie eine technische Realität widerspiegeln, nämlich dass verschiedene Anlagen tatsächlich mit mehr oder weniger stark verschiedenen Emissionsfaktoren betrieben werden. Eine Quantifizierung der Streuung (also z.B. Standardabweichung oder Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls) liefert die Antwort auf die Frage: „Wie stark schwanken die Emissionsfaktoren der Einzelanlagen?" ***Das 95%-Konfidenzintervall der Streuung (z.B. –80% / +230%) gibt dabei an, dass mit 95% Wahrscheinlichkeit eine zufällig gewählte Anlage (oder genauer: ein zufällig ausgewähltes TJ Brennstoff) einen Emissionsfaktor aufweist, der zwischen 20% (=1-80%) und 330% (=1+230%) des gefundenen Mittelwerts liegt.***
Während für eine technologische Charakterisierung des Anlagenparks die Streuung der Emissionsfaktoren ein wichtiger Parameter ist, interessiert für ein Emissionsinventar in erster Linie der Mittelwert und eine Aussage über die **Unsicherheit des Mittelwertes**.
Wir können diejenigen Anlagen, zu denen einerseits Emissionsdaten in den Emissionserklärungen vorliegen und die andererseits alle Plausibilitätstests bestanden haben, als zufällige Stichprobe aus der Gesamtheit aller Anlagen auffassen. Eine Quantifizierung der Unsicherheit des Mittelwertes beantwortet die Frage, wie verlässlich man aus dem Mittelwert der Stichprobe auf den Mittelwert des gesamten Anlagenparks schließen kann. ***Das 95%-Konfidenzintervall der Unsicherheit des Mittelwertes (z.B. +/– 20%) gibt dabei an, dass mit 95% Wahrscheinlichkeit der Mittelwert des gesamten Anlagenparks (oder genauer: für ein durchschnittliches TJ Brennstoff) einen Emissionsfaktor aufweist, der zwischen 80% (=1-20%) und 120% (=1+20%) des Mittelwerts der Stichprobe liegt.*** In die Berechnung der Unsicherheit des Mittelwerts gehen im Wesentlichen die Stichprobengröße und die Streuung (Standardabweichung) der Stichprobe ein. Zusätzlich zur Streuung der EF der Stichprobe werden dabei noch weitere Quellen von Unsicherheit durch Schätzungen berücksichtigt:

- Die Repräsentativität der der jeweiligen Emissionserklärung zugrunde liegenden Messung für den jeweiligen gesamten Anlagenbetrieb – Schätzwert pauschal 20%
- Übertragungsfehler beim Ausfüllen der Emissionserklärungen – Schätzwert pauschal 10%
- Messunsicherheiten – Schätzwert pauschal 10%

Auch für diese weiteren Dimensionen muss man unterscheiden zwischen dem durchschnittlichen Fehler für die einzelnen untersuchten Anlagen (dies ist unsere Schätzgröße) und den Auswirkungen auf den Mittelwert der Stichprobe (sinkt mit zunehmender Stichprobengröße).

Die Auswertungen der Emissionserklärungen liefern Erkenntnisse über brennstoffspezifische Emissionsfaktoren des mittleren deutschen Anlagenparks an Verbrennungsmotoren ohne weitere technologische oder sektorale Differenzierungen. An dieser Stelle kann deshalb keine quantifizierende Aussage darüber gemacht werden, inwieweit eine gleichmäßige Nutzung der gefundenen Emissionsfaktoren in den ja weiter disaggregierten Strukturelementen des Emissionsinventars des Umweltbundesamtes – z.B. Stromerzeugung in Gasmotoren der öffentlichen Kraftwerke vs. Stromerzeugung in Gasmotoren der Industriekraftwerke – zusätzliche Unsicherheiten auf diesem Niveau mit sich bringen.
Alle für die Berechnung benutzten Formeln sind in Kapitel 4.3.9 dokumentiert

4.3.9 Unsicherheit & Statistik: Vorgehen und Berechnungsformeln

Im Folgenden werden die zur Berechnung der Ergebnisse angewandten Formeln vorgestellt.

4.3.9.1 Median

Werden die Beobachtungswerte der Größe nach sortiert („geordnete Stichprobe“), so ist der Median der Wert, der die Verteilung einer „Variablen“ exakt in zwei Hälften teilt. Der Median ist die Zahl, die in der Mitte einer Zahlenreihe liegt. Das heißt, die eine Hälfte der Zahlen hat Werte, die kleiner sind als der Median, und die andere Hälfte hat Werte, die größer sind als der Median.

4.3.9.2 Mittlerer arithmetischer Emissionsfaktor

Pro Anlage wird durch die Division von Emission in kg/a durch die Erdgasmenge in TJ/a der spezifische Emissionsfaktor für Stickoxid in kg/TJ pro Anlage berechnet. Der mittlere arithmetische Emissionsfaktor ergibt sich aus der Summe aller spezifischen Emissionsfaktoren geteilt durch die Anlagenanzahl (siehe Gleichung 5).

Gleichung 5: Arithmetisches Mittel

$$EF_{arithm.Mittel} = \frac{\sum_{i=1}^{N} EF_i}{N}$$

mit:
$EF_{arithm.Mittel}$ =arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]
EF_i = Emissionsfaktor der i-ten Anlage [kg/TJ]
N = Stichprobenumfang
In die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes geht also die Anlagengröße bzw. die Menge des in der Anlage verbrannten Brennstoffes NICHT ein. Bei stark streuenden Anlagengrößen ist das arithmetische Mittel also nur bedingt als Zielgröße geeignet.

4.3.9.3 Summen-Emissionsfaktor

Berechnung des Summen Emissionsfaktor für NO_x aus der Summe der Emissionen und Erdgasmenge aller Motoranlagen einer jeweils betrachteten Menge.

Gleichung 6: Summen-Emissionsfaktor Berechnungsformel:

$$\overline{EF_S} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(EF_i * \frac{b_i}{\overline{b}})}{N} = \frac{\sum_{i=1}^{N} EM_i}{\sum_{i=1}^{N} b_i}$$

mit:

$\overline{EF_S}$ = Summen-Emissionsfaktor der Stichprobe
EF_i = Emissionsfaktor der i-ten Anlage [kg/TJ]
EM_i = Emissionen der i-ten Anlage [kg/a]
N = Stichprobenumfang
b_i = Brennstoffeinsatz der i-ten Anlage [TJ/a]
$\overline{b}$ = mittlerer Brennstoffeinsatz pro Anlage der Stichprobe [TJ/a]

Der Summen-Emissionsfaktor berücksichtigt also im Gegensatz zum arithmetischen Mittel die verschiedenen Anlagengrößen und ist deshalb die primäre Auswertungsgröße zur Ermittlung von Emissionsfaktoren für das Emissionsinventar des UBA.

4.3.9.4 Standardabweichung

Gleichung 7: Berechnung der Standardabweichung

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}$$

mit:

s = Standardabweichung
N= Stichprobenumfang
x_i = Merkmalsausprägung am i-ten Element der Stichprobe
$\overline{x}$ = arithmetisches Mittel der Stichprobe

Auch eine so berechnete Standardabweichung (gleich Wurzel der Varianz) ignoriert die verschiedenen Größen der betrachteten Anlagen. Zur besseren Schätzung der Unsicherheiten des Mittelwertes wird deshalb in diesem Vorhaben mit einer gewichteten Standardabweichung gerechnet.

4.3.9.5 Gewichtete Standardabweichung

Gleichung 8: Berechnung der gewichteten Standardabweichung

$$s_{x,g} = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}((EF_i - \overline{EF_S})^2 * \frac{b_i}{\overline{b}})}$$

mit:

$s_{x,g}$ = gewichtete Standardabweichung der Emissionsfaktoren der Stichprobe
N = Stichprobenumfang
EF_i = Emissionsfaktor der i-ten Anlage
$\overline{EF_S}$ = Summen-Emissionsfaktor der Stichprobe (Gleichung 6)
bi = Brennstoffeinsatz der i-ten Anlage
$\overline{b}$ = mittlerer Brennstoffeinsatz pro Anlage der Stichprobe

4.3.9.6 Streuung der anlagenspezifischen Emissionsfaktoren zum Summen-Emissionsfaktor

Als erster Schritt zur Quantifizierung der Unsicherheiten des gewonnenen Summen-Emissionsfaktors wurde die Streuung der anlagenspezifischen Emissionsfaktoren analysiert. Dazu sollen in Anlehnung an die Konventionen der internationalen Emissionsberichterstattung die untere und die obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls bestimmt werden. Das 95%-Konfidenzintervall umfasst diejenigen Emissionsfaktoren, die 95% der kumulierten Brennstoffmenge des untersuchten Anlagenkollektivs umfassen. Die untere Grenze entspricht dem 2,5%-Quantil, die obere Grenze dem 97,5%-Quantil der Verteilung.
Zu diesem Zweck wurden die analysierten Anlagen nach der Höhe der anlagenspezifischen Emissionsfaktoren sortiert und über der kumulierten Brennstoffmenge aufgetragen. Der gesuchte 2,5%-Quantilswert der EF ist auf der Kurve der Emissionsfaktoren über der Brennstoffmenge zu finden, die 2,5% der kumulierten Brennstoffmenge des untersuchten Anlagenkollektivs entspricht, das 97,5%-Quantil der EF entsprechend über dem 97,5%Quantil der kumulierten Brennstoffmenge.

Abbildung 8: Veranschaulichung der Quantilsberechnung der Auswertung

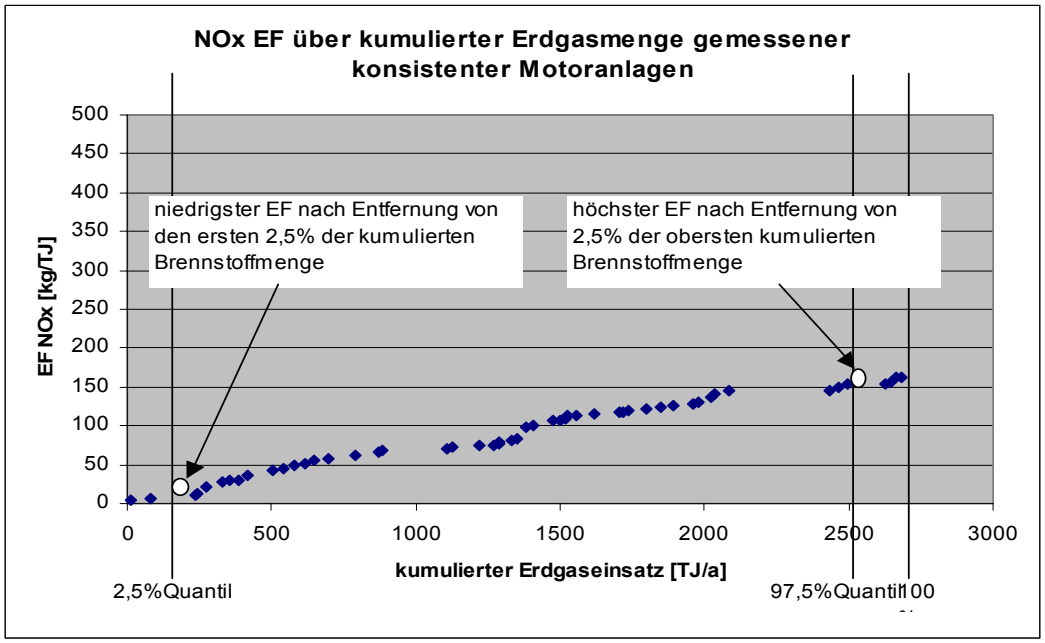
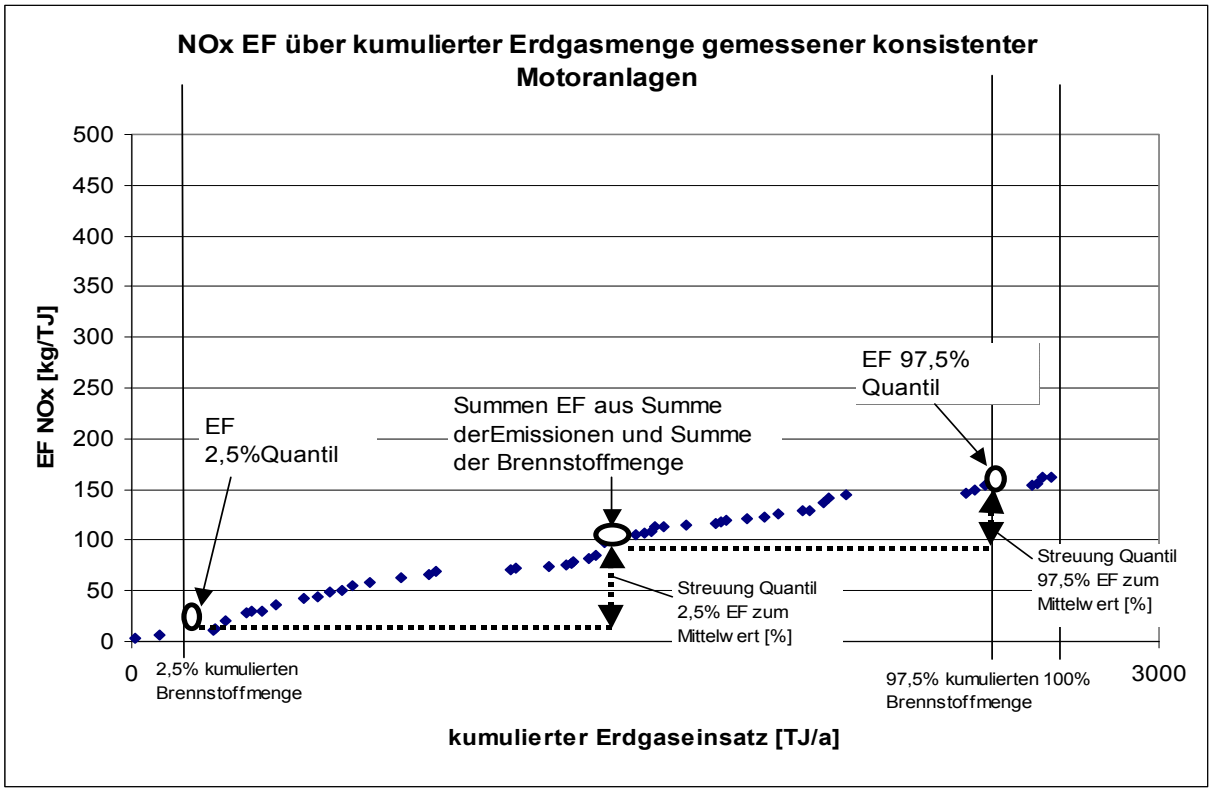


Abbildung 8 veranschaulicht die Quantile der Brennstoffsumme und die Berechnung der Quantils-Emissionsfaktoren. Der 2,5 % Quantils-Emissionsfaktor ist der erste, also niedrigste Emissionsfaktor nach Entfernung von 2,5 % der kumulierten Gesamtbrennstoffmenge. Der 97,5 % Quantils-Emissionsfaktor ist dementsprechend der höchste nach Entfernung von 2,5 % der oberen kumulierten Brennstoffmenge. Im nächsten Schritt wird die Streuung der beiden Quantils-Emissionsfaktoren zum Summen-Emissionsfaktor berechnet (Veranschaulichung in Abbildung 9). Dazu wird jeweils der Abstand der niedrigsten (2,5%-Quantil) und höchsten (97,5%-Quantil) Emissionsfaktoren zum Summen-Emissionsfaktor als Abweichung in Prozent des Summen-Emissionsfaktors bestimmt. Je geringer diese Abweichungen sind, umso homogener ist das untersuchte Anlagenkollektiv in Bezug auf seine Emissionsfaktoren.

Abbildung 9: Veranschaulichung der Streuung des niedrigsten und höchsten Quantil-Emissionsfaktors zum Summen-Emissionsfaktor aus Gesamtsumme von Emission und Brennstoff der betrachteten Motoranlagen



4.3.9.7 Stichprobenbasierte Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors

Die Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors der Stichprobe in Anwendung auf die Gesamtheit der Motorenanlagen, angegeben als Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls, berechnet sich in Anlehnung an die IPCC 2006 Guidelines[9] (Kap 3.2.1.2, Seite 3.17) nach Gleichung 9:

Gleichung 9: Stichprobenbasierte Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors (95%-Konfidenzintervall):

$$U_{S,\overline{EF_S}}[\%] = \pm \frac{T_{INV}(0{,}05; N-1) * \frac{s_{x,g}}{\sqrt{N}}}{\overline{EF_g}}$$

. mit:

$U_{S,\overline{EF_S}}$ = Stichprobenbasierte Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) des Summen-Emissionsfaktors in %

$s_{x,g}$ = gewichtete Standardabweichung der Emissionsfaktoren der Stichprobe (Gleichung 8)

[9] IPCC 2006 Guidelines: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K., et al. (Hg.) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html

N = Stichprobenumfang

$\overline{EF_g}$ = Summen-Emissionsfaktor der Stichprobe (Gleichung 6)

T_{INV} (0,05; N-1) = 97,5%-Quantil (= obere Grenze des symmetrischen 95%-Intervalls) einer T-Verteilung mit (N-1) Freiheitsgraden (N = Stichprobenumfang). Für N > 30 konvergiert T_{INV} (0,05; N-1) von oben gegen das 97,5%-Quantil der Standardnormalverteilung, also 1,96

4.3.9.8 Additive Verknüpfung von Unsicherheiten

Für eine additive Verknüpfung wird nach IPCC 2006 Guidelines[9] (Kap 3.2.3.1, Seite 3.28, Gleichung 3.2) Gleichung 10 genutzt:

Gleichung 10: Additive Verknüpfung von Unsicherheiten

$$U_{gesamt} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(U_i * x_i)^2}}{\sum_{i=1}^{n} x_i}$$

mit:

U_{gesamt} = kombinierte Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) in [%]
U_i = Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall):der i-ten zu verknüpfenden Größe in [%]
x_i = Wert der i-ten zu verknüpfenden Größe
n = Anzahl der additiv zu verknüpfenden Größen

Anwendungsfall ist z.B. die Berechnung der Auswirkung von Messunsicherheiten auf den Summenemissionsfaktor:

Gleichung 11: Fortpflanzung von Messunsicherheiten

$$U_{M,mittel} = \frac{\sqrt{N * U_{M,i}^{\ 2}}}{N}$$

. mit:

$U_{M,mittel}$ = durch Messunsicherheiten bedingte Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) des Mittelwertes in %
$U_{M,i}$ = schadstoffspezifische Messunsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) der Einzelmessung in %
N = Stichprobengröße

Für die Unsicherheitsdimensionen „Repräsentativität der Emissionsmessung“ und „Übertragungsfehler“ wird entsprechend vorgegangen.

4.3.9.9 Multiplikative Verknüpfung von Unsicherheiten

Für eine multiplikative Verknüpfung wird nach IPCC 2006 Guidelines[9] (Kap 3.2.3.1, Seite 3.28, Gleichung 3.1) Gleichung 12 genutzt:

Gleichung 12: Multiplikative Verknüpfung von Unsicherheiten

$$U_{gesamt} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} U_i^2}$$

. mit:
U_{gesamt} = kombinierte Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) in %
Ui = Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) der i-ten zu verknüpfenden Größe in %
N = Anzahl der multiplikativ zu verknüpfenden Größen

Anwendungsfall ist die Verknüpfung der stichprobenbasierten Unsicherheit des Mittelwertes (Gleichung 9) mit den Einflüssen der anderen Unsicherheitsdimensionen (Ergebnisse von Gleichung 11) zu einer Gesamtunsicherheit für den Summenemissionsfaktor.

4.3.9.10 Verteilungstypen der Wahrscheinlichkeitsdichte

Im Normalfall werden die berechneten Gesamtunsicherheiten des Summenemissionsfaktors (Gleichung 12) als normalverteilt eingestuft. Bei prozentualen Unsicherheiten größer 100% ist dies nicht mehr sinnvoll, da Emissionsfaktoren per Definition nicht negativ sein können.
In diesem Fall wird eine logarithmische Normalverteilung angenommen, und der berechnete prozentuale Unsicherheitswert als 97,5%-Quantil, also die obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls interpretiert.
Eine logarithmische Normalverteilung wird durch die Lageparameter μ („mü“)und σ („sigma“) definiert und ist durch den Erwartungswert (das ist in unserem Falle der Summenemissionsfaktor) und ein Quantil bereits durch Gleichung 13 und Gleichung 14 wohlbestimmt:

Gleichung 13: Erwartungswert einer logarithmischen Normalverteilung

$$\mathrm{E}(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{+\infty} x \, \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{x} \, \mathrm{d}x = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

mit:
E(X) = Erwartungswert der logarithmischen Normalverteilung
μ, σ = Lageparameter der logarithmischen Normalverteilung

Gleichung 14: p-Quantil einer logarithmischen Normalverteilung

$$x_{(p)} = e^{\mu + u_{(p)} \cdot \sigma}$$

. mit:
$x_{(p)}$ = p-Quantil der logarithmischen Normalverteilung
$u_{(p)}$ = p-Quantil der Standardnormalverteilung (für p = 97,5% ist $u_{(p)}$= 1,96)
μ, σ = Lageparameter der logarithmischen Normalverteilung

Mit bekanntem Erwartungswert und 97,5%-Quantil lassen sich Gleichung 13 und Gleichung 14 nach den Lageparametern μ und σ auflösen. Das 2,5%-Quantil, also die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls, lässt sich dann nach Gleichung 14 mit $u_{(2,5\%)}$= -1,96 berechnen.

4.3.10 Sensitivitäten der Ergebnisse auf die Grenzen der Plausibilitätstests

Im Folgenden sind die Sensitivitäten der Konsistenztests für Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) und für Brennstoffmengen (Kapitel 4.3.6) auf die Anzahl der Anlagen, die in die Berechnung des Summen-Emissionsfaktors eingehen und die resultierenden Summen-Emissionsfaktoren dargestellt.

Tabelle 15: Sensitivitäten der Ergebnisse von Anlagenzahl die in die Berechnung des Summen Emissionsfaktors eingehen und der Summen Emissionsfaktors. Markiert sind die Zellen der im Bericht vorgestellten Berechnungen

Toleranzgrenze Emissionen [%]	1	5	10	20	30	100	>100	Motoranlagen Anzahl
	1	1	1	1	1	1	1	1
	19	22	22	22	22	22	22	5
	34	37	37	38	38	38	38	10
	45	49	49	50	50	50	50	20
	48	52	52	53	53	53	53	24
	57	61	61	62	62	62	62	30
	71	76	76	77	77	77	77	40
	89	94	94	95	95	95	95	50
	109	114	115	117	117	117	117	80
	133	142	143	143	147	147	147	>100
								Toleranzgrenze Brennstoff [%]

Toleranzgrenze Emissionen [%]	1	5	10	20	30	100	>100	Summen Emissionsfaktoren [kg NO_x/TJ Erdgas]
	45	45	45	45	45	45	45	1
	102	92	92	92	92	92	92	5
	98	91	91	91	91	91	91	10
	96	91	91	90	90	90	90	20
	96	91	91	91	91	91	91	24
	99	95	95	95	95	95	95	30
	96	96	96	96	96	96	96	40
	99	96	96	96	96	96	96	50
	100	98	97	98	98	98	98	80
	106	105	104	104	105	105	105	>100
								Toleranzgrenze Brennstoff [%]

Die obere Tabellenzeile zeigt die prozentual zugelassenen Abweichungen der berechneten noch als plausibel geltenden Emissionen von denen in den Emissionserklärungen angegebenen (Test gemäß Kapitel 4.3.5). Die rechte Spalte zeigt die zugelassenen Schwankungen der spezifischen Rauchgasvolumina als Plausibilisierung der Brennstoffmenge (Test gemäß Kapitel 4.3.6). Diese Volumina schwanken nach oben über den gesamten prozentual angegebenen Bereich; nach unten sind die Schwankungen begrenzt durch den Sauerstoffbedarf der Verbrennung von drei Prozent. Eine prozentuale Schwankung größer 100 % bedeutet, dass die entsprechende Plausibilitätsgrenze für Emission oder Brennstoff gar nicht gilt, da alle berechneten Werte zugelassen sind.
Aus Tabelle 15 geht hervor, dass die Ergebnisse der Anlagenzahl und des Summen-Emissionsfaktors, selbst bei steigender Toleranzgrenze der Emissionen, nur geringfügig schwanken. Die Sensitivitäten der Brennstoffmenge hingegen sind stärker. Die Sensitivitäten der Ergebnisse

von Anlagenzahl und Summen-Emissionsfaktor sind am höchsten, wenn die zugelassene Schwankungsbreite des Brennstoffs zwischen 20 und 30 % liegt.
Das Ergebnis der Analyse ergibt einen Stickoxid-Summen-Emissionsfaktor aus den Summen der Emissions- und Brennstoffmengen von 52 gemessenen Motoranlagen von 91 kg/TJ. Wird die Toleranzgrenze der zulässigen Abweichung des Brennstoffes von 30 % gewährt, ergibt sich ein Summen-Emissionsfaktor von 95 kg/TJ aus 61 Anlagen. Das Ergebnis ist nicht sehr sensibel und verändert sich am meisten durch die zugelassenen Brennstoffmengen.

4.3.11 Auswertung der Abgasreinigungsverfahren

Von 427 Motoranlagen mit plausiblen Heizwerten und Brennstoffeinsätzen größer Null geben 50 Anlagen eine Abgasreinigung an. Von den nach den durchgeführten Plausibilitätstests von ausschließlich gemessenen Emissionen und Brennstoffeinsätzen verbleibenden 52 Motoranlagen ist für fünf Anlagen eine Abgasreinigung angegeben. Aufgrund der geringen Anlagenzahl werden die Anlagen in der folgenden Tabelle 16 einzeln aufgeführt. Angegeben sind Leistung in MW, die prozentuale Anlagenauslastung, Erdgaseinsatz in TJ/a, Emissionsmenge NO_x in kg/a, Verfahren der Abgasreinigung und der berechnete Emissionsfaktor für NO_x pro Anlage in kg/TJ.

Tabelle 16: Darstellung der Motoranlagen mit Abgasreinigung innerhalb der gemessenen konsistenten Motoranlagen

Nr.	Leistung [MW]	Auslastung [%]	Erdgaseinsatz [TJ/a]	NO_x Emissionen [kg/a]	Abgasreinigungstechnik	NO_x-EF [kg/TJ]
1	1,86	49	32	1.625	Katalytische Nachverbrennung - KNV	50,37
2	4,28	98	94	6.937	Katalytische Oxidation, z.B. Leanox-Verfahren	73,73
3	3,53	50	47	6.777	Katalytische Oxidation, z.B. Leanox-Verfahren	145,11
4	2,66	98	52	3.888	Katalytische Verbrennung - EGR	75,13
5	1,14	58	20	1.712	Katalytische Gasreinigung	84,40

Der arithmetische spezifische Mittelwert der NO_x Emissionsfaktoren dieser fünf Anlagen beträgt 86 TJ/a der Summen Emissionsfaktor beträt 85 TJ/a. Die Ergebnisse sind zur Vollständigkeit der Analyse mit aufgeführt, können aufgrund der geringen Anlagenanzahl jedoch kaum als repräsentativ für Motoranlagen mit Abgasreinigung betrachtet werden. Die technischen Verfahren der Abgasreinigung sind für drei Anlagen verschieden bezeichnet, aus den Bezeichnungen geht hervor, dass ein Katalysator verwendet wird, die technisch gleich sein können. Zwei Anlagen verwenden die katalytische Oxidation. Ihre Emissionsfaktoren unterscheiden sich jedoch stark.

4.3.12 Zeitlicher Verlauf / Prognosen

Aus den Daten der Emissionserklärungen ist es nicht möglich, auf das Alter der betreffenden Anlagen oder Aggregate zu schließen. Außerdem lässt sich angesichts der hohen Streuung der anlagenspezifischen EF kein Rückschluss auf die verwendete Verbrennungstechnik ziehen. Eine Korrelation zwischen Höhe der Emissionsfaktoren und dem Brennstoffverbrauch bzw. der Größe der Anlagen lässt sich ebenfalls nicht aus den Daten konstruieren. Schließlich ist keine sinnvolle Auswertung von Angaben zu Rauchgasreinigungsaggregaten möglich.

Unter diesen Umständen wäre es pure Spekulation, aus den für 2004 gewonnen Daten Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Emissionsfaktoren machen zu wollen, sei es rückwärts bis 1990, sei es als Prognose für 2010.
In Abstimmung mit der Projektbegleitung des Umweltbundesamtes wurde von diesem Vorhaben Abstand genommen.

4.3.13 Übersicht der Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnung von Emissionsfaktoren für Stickoxid bei stationären Motoren vorgestellt und diskutiert. Tabelle 17 (Seite 46) zeigt die wichtigsten Ergebnisse der Auswertungen. Die Ergebnisse sind dargestellt für drei unterschiedliche Datensätze von erdgasbetriebenen Motoranlagen:

- (zum Vergleich) Erdgasbetriebene Motoranlagen mit plausiblem Heizwert und Erdgasmenge > 0, ohne weitergehende Plausibilisierungen (vgl. Abbildung 1, Seite 28)
- (als zentrales Ergebnis) Erdgasbetriebene Motoranlagen mit plausiblem Heizwert, konsistenten Brennstoffmengen und **gemessenen** konsistenten Emissionsmengen (vgl. Abbildung 5, Seite 34)
- (zum Vergleich) Erdgasbetriebene Motoranlagen mit plausiblem Heizwert, konsistenten Brennstoffmengen und **berechneten** konsistenten Emissionsmengen (vgl. Abbildung 5, Seite 34)

Tabelle 17: Emissionsfaktoren NO_x – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	427	52	15
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	120	89	132
Median der EF [kg/TJ]	101	91	193
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	97	46	78
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	96	52	80
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	44.905	44.270	44.579
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	70	**91**	167
Summe Emissionen [kg/a]	2.851.260	244.508	201.261
Summe Brennstoff [TJ/a]	40.894	2.683	1.205
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-93%	-78%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	210%	69%	22%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 15%**	n.a.

Die erste Gruppe umfasst 427 Motoranlagen (siehe Abbildung 1) mit plausiblen Heizwerten und Erdgasmengen größer Null. Der mittlere arithmetische Emissionsfaktor ist mit 119,5 kg/TJ deutlich

größer als der Summen-Emissionsfaktor von 69,7 kg/TJ. Der große Unterschied weist darauf hin, dass es innerhalb dieser Motorenmenge eine breite Streuung der Anlagengröße gibt. Weiterhin lässt sich vermuten, dass einige sehr unplausible Datensätze diesen großen Unterschied hervorrufen, so können beispielsweise Motoranlagen enthalten sein, die trotz sehr hohen Brennstoffeinsatzes eine viel zu geringe Emission verursachen. Entsprechend ist die Standardabweichung als Maß der Streuung der spezifischen Emissionsfaktoren um den mittleren arithmetischen Emissionsfaktor von allen drei Gruppen in dieser Gruppe mit 96,7 kg/TJ am höchsten. Die Streuung der Emissionsfaktoren ist sehr hoch. Der Abstand der 2,5%- und 97,5%- Quantile[10] zum Summen-Emissionsfaktor ist, im Vergleich zu den anderen Gruppen erwartungsgemäß, mit -100 % zur unteren Grenze und über 210 % zur oberen Grenze, am höchsten. Diese breite Streuung ist ein weiteres Indiz zur sehr heterogenen Analysemenge.
Die zweite Gruppe der gemessenen erdgasbetriebenen Motoranlagen mit konsistenten Emissions- und Brennstoffdaten unterscheidet sich in ihren Ergebnissen deutlich von der ersten Gruppe. Der erste Unterschied ist die mit 52 wesentlich geringere Anlagenanzahl. Der mittlere arithmetische Emissionsfaktor beträgt 89,1 kg/TJ und liegt deutlich unterhalb desjenigen der ersten Gruppe (119,5 kg/TJ). Die Standardabweichung der spezifischen Emissionsfaktoren ist mit 45,9 kg/TJ von allen Gruppen die geringste. Der Summen-Emissionsfaktor liegt mit 91,1 kg/TJ deutlich über dem der ersten Auswertungsgruppe. Die Differenz zwischen beiden Emissionsfaktoren ist in dieser Gruppe im Gegensatz zur ersten Gruppe auch deutlich geringer. Die 2,5%- und 97,5%-Quantile haben hier einen geringeren Abstand zum Summen-Emissionsfaktor, die Streuung der zugehörigen spezifischen Emissionsfaktoren ist also nicht so stark wie innerhalb der ersten Gruppe. Die Abstände der beiden Grenzen zum Summen-Emissionsfaktor sind mit -93 % und +69 % jedoch immer noch hoch. In dieser Gruppe befinden sich ausschließlich Anlagen mit gemessenen Stickoxid-Emissionen, deren Angaben innerhalb der Emissionserklärungen als konsistent bezüglich ihrer Emission und Brennstoffmenge gelten. Für dieses als valide betrachtete Datenkollektiv wurde zusätzlich nach dem in Kapitel 4.3.9 skizzierten Verfahren die Unsicherheit (95%-Konfidenzintervall) des Summenemissionsfaktors geschätzt. Diese beträgt ca. +/- 15 %.
In der dritten Gruppe wurden 15 erdgasbetriebene Motorenanlagen analysiert, deren Emissionen und Erdgasmengen konsistent sind. Der Ermittlung der Emissionsmengen beruht jedoch nicht, wie in der zweiten Gruppe auf Messwerten, sondern auf berechneten Werten[11]. Hier sind sowohl der mittlere arithmetische Emissionsfaktor und der Summen-Emissionsfaktor höher als in den anderen Gruppen. Der anlagenspezifische arithmetische Mittelwert beträgt 132,1 kg/TJ der Summen Emissionsfaktor dieser Gruppe beträgt 167 kg/TJ. Die Standardabweichung der spezifischen Emissionsfaktoren ist wesentlich höher als die der zweiten Gruppe, jedoch gleichzeitig deutlich niedriger als die der ersten. Die Abstände der 2,5 % und 97,5 % Quantile zum Summen-Emissionsfaktor sind im Vergleich zu den ersten beiden Gruppen am geringsten. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den spezifischen Emissionsfaktoren der gemessenen und berechneten Emissionen. Dieses Ergebnis ist plausibel, wenn wir davon ausgehen, dass ein begrenztes Set an vorgegebenen Emissionsfaktoren zur Berechnung verwendet wurde.

4.3.14 Fazit – Grenzen der Auswertbarkeit

Der aus der zweiten Gruppe der vorliegenden Datensätze (Tabelle 17) berechnete Summen-Emissionsfaktor ist das von den Forschungsnehmern präsentierte Ergebnis eines NO_x -Emissionsfaktors für erdgasbetriebene stationäre Verbrennungsmotoren: **91 kg NO_x /TJ Erdgas bei**

[10] Erläuterung der Quantilsberechnung in Kapitel 4.3.9.6 (Seite 40)
[11] Jeder Emissionsfracht in den Emissionserklärungen kann als „gemessen“, „berechnet“ oder “geschätzt“ deklariert werden. Zur Berechnung könnten von den Ausfüllern z.B. der Default-EF aus dem Handbuch der Emissionserklärungen oder andere Literaturwerte benutzt worden sein.

einer Unsicherheit von +/- 15%. Die Ergebnisse aus den anderen beiden Gruppen stellen Vergleichswerte dar und zeigen auf, dass die durchgeführten Plausibilitätsprüfungen und Gruppeneinteilungen einen deutlichen Einfluss auf den Summen-Emissionsfaktor haben.
Von 457 erdgasbetriebenen Motorenanlagen erwiesen sich nur 52 Datensätze als plausibel. Nur diese Motoranlagen konnten zur Berechnung eines NO_x-Emissionsfaktors für erdgasbetriebene stationäre Verbrennungsmotoren herangezogen werden. Dass heißt, ca. 90 % des Datenmaterials konnten nach Durchführung der Plausibilitätstests nicht mehr verwendet werden. Die Qualität der vorliegenden Emissionserklärungen von erdgasbetriebenen Motoranlagen ist in Bezug auf die Angaben zu Emissionen und Brennstoffen nach unserer Analyse als schlecht zu bewerten. Besonders hinderlich für eine Auswertung im Sinne des UBA sind die unterschiedlichen Angabeniveaus von Emissionen und Brennstoffmengen. Die Emissionen liegen auf EBV-Ebene vor und sind detailliert pro Quelle verfügbar. Die Brennstoffangaben hingegen liegen nur auf Ebene der Anlagenteile vor und sind nur schwer zu plausibilisieren.
Eine über das hier präsentierte Maß hinausgehende Differenzierung, z.B. in Hinblick auf technische Spezifika, Einfluss von Rauchgasreinigung oder ZSE-Strukturelemente sowie Aussagen zur zeitlichen Entwicklung der Emissionsfaktoren sind nicht möglich.

5 Ergebnisse - Emissionsfaktoren

5.1 Überblick

Tabelle 18 gibt einen Überblick über die in der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 ermittelten Emissionsfaktoren. Ergänzende Angaben zur Datenqualität finden sich für jeden einzelnen Emissionsfaktor in den folgenden Kapiteln

Tabelle 18: Überblick über die ermittelten Emissionsfaktoren

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Übersicht über die ermittelten Emissionsfaktoren [kg/TJ]								
	Erdgas	Deponiegas	Klärgas	Biogas	Grubengas	Heizöl EL/ Diesel	Pflanzenöl	Pflanzenölester
NO_x	91	111	107	89	140	760	n.a.	n.a.
CO	48	179	180	133	72	138	n.a.	n.a.
SO_2	9	40	30	58	2	66	-	-
NH_3	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
N_2O	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	-	-
CH_4	309	3	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	-
B(a)P	n.a.	$0{,}129 * 10^{-3}$	-	-	-	n.a.	-	-
Benzol	-	0,042	-	-	-	n.a.	-	-
Formaldehyd	8	4	17	10	10	17	-	n.a.
NMVOC	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	-	-
Gesamt – C ohne Methan	n.a.	8	n.a.	-	n.a.	-	-	-
Gesamtstaub	n.a.	0,44	0,19	n.a.	0,35	11	4,39	n.a.
Feinstaub $PM_{2,5}/PM_{10}$	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	-	-
Ruß	-	-	-	-	-	n.a.	-	-

- keine Datensätze vorhanden
n.a.: Daten nicht belastbar auswertbar

5.2 Stickoxide

Tabelle 19 gibt einen Überblick über die Anzahl von Anlagen, die für eine Auswertung zu Emissionen an Stickoxid (NO_x) zur Verfügung stehen.

Tabelle 19: Für NO_x auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	468	52
Deponiegas	972 / 8168	185	16
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	98	9
Klärgas	971	56	3
Biogas	974 / 9629 / 81813	30	5
Grubengas	973	24	6
Pflanzenöl	917	4	0
Pflanzenölester	9126	1	0
Methan	1	6	-
Propan	12	4	-
Butan	13	4	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	2	-
Sonstiges	9999	2	-
Gesamt		884	**91**

5.2.1 Emissionsfaktor NO_x – Erdgas

Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus erdgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 91 kg NO_2/TJ Erdgas +/- 15%. Insgesamt erwiesen sich aus 468 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 437 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 47% dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben 52 Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 89% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten also im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 20: Emissionsfaktoren NO_x – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	437	52	13
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	123	89	132
Median der EF [kg/TJ]	101	91	192
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	106	46	78
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	99	52	86
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	46.147	44.270	44.815
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**70**	**91**	**172**
Summe Emissionen [kg/a]	3.028.026	244.358	192.986
Summe Brennstoff [TJ/a]	43.470	2.683	1.120
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-93%	-76%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	242%	69%	31%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 15%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 15 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 91 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 91 und 96 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 52 und 94. Obwohl 90 % der Anlagen aussortiert werden, und die verbleibende Untersuchungsmenge gering ist, weist die geringe Sensitivität jedoch auf die Belastbarkeit des Ergebnisses hin.

Tabelle 21: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff NO_x**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	91
Handbuch Emissionserklärungen	2004	203[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	129
NERI Technical Report No. 672, 2008; Sub-Report 3	2008	148[2]
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		153 (≈ 500mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren) 77 (≈ 250mg/m³; sonstige 4-Takt-Motoren)

[1] umgerechnet aus 9,35 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 46.000 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 18 verschiedene Motortypen ermittelt. Die einzelnen Emissionsfaktoren haben eine Schwankungsbreite von 74-172 kg/TJ.
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 21 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der NERI Technical Report hatte die Aufgabenstellung, einen Emissionsfaktor für Dänemark zu ermitteln. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 60 % klar unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit - 30 % auch deutlich unterhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Der ermittelte Emissionsfaktor aus dem NERI Technical Report aus dem Jahr 2008 liegt mit 148 kg/TJ um 61 % höher. Auch im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft erscheint der berechnete Emissionsfaktor plausibel.

5.2.2 Emissionsfaktor NO_x – Deponiegas

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 111 kg NO_x/TJ Deponiegas +/- 17%. Insgesamt erwiesen sich aus 185 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 150 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 68% dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben 16 Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 90% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten also im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 22: Emissionsfaktoren NO_x – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	150	16	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	982	97	73
Median der EF [kg/TJ]	146	105	73
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	10.011	40	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	56	48	61
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	15.775	14.659	15.452
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**78**	**111**	**73**
Summe Emissionen [kg/a]	657.321	86.118	4.465
Summe Brennstoff [TJ/a]	8.405	775	61
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-63%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	197%	43%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 17%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 17 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 111 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist nicht sehr hoch: Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 103 und 127 kg/TJ, also deutlich unterhalb der abgeschätzten Unsicherheit von 27%. Mit der Schärfe der Abschneidekriterien schwankt auch die Zahl der auswertbaren Anlagen zwischen 2 und 44.

Tabelle 23: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff NO_x**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	111
Handbuch Emissionserklärungen	2004	194[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	129
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		153 (≈ 500mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren)

[1] umgerechnet aus 2,57 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 23 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 43 % klar unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit - 14 % deutlich näher, jedoch auch unterhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Auch im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft liegt der berechnete Emissionsfaktor im plausiblen Bereich.

5.2.3 Emissionsfaktor NO_x – Klärgas

Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus klärgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 107 kg NO_2/TJ Klärgas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 56 klärgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 50 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 64 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich drei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 94% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen also aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 24: Emissionsfaktoren NO_x – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	50	3	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	183	99	
Median der EF [kg/TJ]	149	100	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	109	30	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	853	29	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	18.539	16.767	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**7**	**107**	**25**
Summe Emissionen [kg/a]	313.746	9.376	1.161
Summe Brennstoff [TJ/a]	42.647	87	47
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-98%	-36%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	1890%	20%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Da nur drei Anlagen in die Berechnung eingegangen sind, ist eine genau quantifizierte Angabe der Unsicherheit des ermittelten Emissionsfaktors nicht sinnvoll. Wir schätzen sie als über eine Größenordnung ab. In den Emissionserklärungen fiel auf, dass bei einigen Datensätzen unter der Stoffnummer für Klärgas bei der Stoffbezeichnung Biogas eingetragen wurde. Keine der mit Biogas ausgewiesenen Anlagen ging aber in die Berechnung des zentralen Ergebnisses für Klärgas ein. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 107 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Variiert die zugelassene Schwankungsbreite

bis zu 40 % der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen nur gering. Entsprechend schwankt die Zahl der ausgewerteten Anlagen zwischen 3 und 7. Größere Schwankungen treten oberhalb von 50 % Toleranzgrenze des Rauchgasvolumens auf. Die Verschiebung der Toleranzgrenzen beim Konsistenztest der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) hat kaum Einfluss auf das Ergebnis.

Tabelle 25: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff NO_x**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	107
Handbuch Emissionserklärungen	2004	256[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	129
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		153 (≈ 500mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren ≥ 3 MW) 306 (≈ 1000mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren < 3 MW)
[1] umgerechnet aus 3,47 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.559 kJ/kg [2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 25 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 58 % weit unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit - 17 % deutlich näher, jedoch auch unterhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Auch im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor niedriger.

5.2.4 Emissionsfaktor NO_x – Biogas

Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus biogasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 89 kg NO_2/TJ Biogas +/- 36%. Insgesamt erwiesen sich aus 30 biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 28 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 46% dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich drei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 60% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 26: Emissionsfaktoren NO_x – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	28	5	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	151	99	149
Median der EF [kg/TJ]	141	95	149
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	76	26	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	49	71	38
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	21.596	20.321	23.250
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**143**	**89**	**149**
Summe Emissionen [kg/a]	195.896	31.761	5.733
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.374	356	38
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-87%	-31%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	120%	38%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 36%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 36 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 89 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 85 bis maximal 99 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 3 und 10. Die Verschiebung der Toleranzgrenzen der Emissionsfracht hat keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Tabelle 27: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff NO_x**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	89
Handbuch Emissionserklärungen	2004	149[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Eltra PSO Report 3141 [2]	2003	540
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		153 (≈ 500mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren ≥ 3 MW) 306 (≈ 1000mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren < 3 MW)

[1] umgerechnet aus 3,47 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 23.250 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 15 Motoren ermittelt. Die einzelnen Emissionsfaktoren haben eine Schwankungsbreite von 530 kg/TJ; der maximale Emissionsfaktor beträgt 1856 kg/TJ, der minimale 119 kg/TJ.
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 27 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 40 % weit unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Im ZSE 2009 ist kein Emissionsfaktor für den Brennstoff Biogas eingetragen. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor ebenfalls deutlich niedriger. Der ermittelte Emissionsfaktor von 540 kg/TJ des ELTRA PSO Projektes 3141 im Jahr 2003 übertrifft die vorher genannten um das Vier- bis Sechsfache.

5.2.5 Emissionsfaktor NO_x – Grubengas

Tabelle 28 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus grubengasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 140 kg NO_2/TJ Grubengas +/-20%. Insgesamt erwiesen sich aus 24 grubengasbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 19 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 14 dieser Anlagen (ca. 74 %) lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich sechs Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 69% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten also im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 28: Emissionsfaktoren NO_x – Grubengas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Grubengas	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	19	6	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	448	119	
Median der EF [kg/TJ]	141	119	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1.090	24	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	272	463	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	18.001	20.147	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**149**	**140**	
Summe Emissionen [kg/a]	770.339	389.616	
Summe Brennstoff [TJ/a]	5.159	2.776	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-45%	-36%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	110%	8%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+/- 20% /**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 20 % Abweichung. Es gibt fast keine Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 140 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10). Trotz dieser geringen Sensitivität ist die Datenmenge zur Berechnung mit nur sechs Anlagen gering.

Tabelle 29: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Grubengas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Grubengas Schadstoff NO_x**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	140
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		153 (≈ 500mg/m³; Zündstrahl-& Magermotoren)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 29 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren für Grubengas hinterlegt. Verglichen mit den Emissionswerten der TA Luft unterscheidet sich der berechnete Emissionsfaktor um nur 10 %.

5.2.6 Emissionsfaktor NO_x – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 30 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 760 kg NO_2/TJ Heizöl EL/Diesel +/- 33%. Insgesamt erwiesen sich aus 81 heizölbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 96 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 42 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich neun Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 90% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 30: Emissionsfaktoren NO_x – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: NO_x [als NO_2]
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	96	9	3
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	948	643	428
Median der EF [kg/TJ]	1.002	641	52
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	896	316	652
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	14	7	15
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.879	42.697	42.700
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**619**	**760**	**1.172**
Summe Emissionen [kg/a]	812.506	48.695	54.443
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.312	64	46
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-97%	-36%	1%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	161%	48%	1%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 33%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 33 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 760 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist eingeschränkt gegeben. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 666 und 777 kg/TJ, also deutlich innerhalb der angegebenen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 2 und 11. Werden die Toleranzgrenzen im Konsistenztest der Brennstoffmenge auf über 50% erhöht steigt die Anlagenzahl bis auf 24 an, der ermittelte Emissionsfaktor betrüge dann 988 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis nicht. Da die angegebenen Gesamtstunden [h/a] in den Emissionserklärungen bei sechs von neun konsistenten Anlagen unterhalb von 600 h/a liegt, handelt es sich vermutlich um Spitzenlastanlagen. Ein expliziter technischer Hinweis ist in den Emissionserklärungen jedoch nicht enthalten.

Tabelle 31: Vergleich von Emissionsfaktoren NO_x – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff NO_x**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	760
Handbuch Emissionserklärungen	2004	1.100[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	129 (Heizöl EL in Gasmotoren) 672 (Dieselkraftstoff in Dieselmotoren)
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		157-314 (≈ 500-1.000 mg/m³; Selbstzündungsmotoren)

[1] umgerechnet aus 46,97 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 31 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 31 % weit unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Im Vergleich zum ZSE liegt der berechnete Emissionsfaktor in der Größenordnung (+13%) des ZSE-Emissionsfaktors für Dieselkraftstoff in Dieselmotoren, aber mehr als fünfmal höher als der ZSE-EF für Heizöl EL in Gasmotoren. Auch im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor viel höher.

5.2.7 Emissionsfaktor NO_x – Pflanzenöl

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus pflanzenölbefeuerten Motoren enthält insgesamt zwei Anlagen, beide davon haben gemessene Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Die Unplausibilitäten lagen beim berechneten spezifischen Rauchgasvolumen vor. Aus den unplausiblen Daten wurden folgende Vergleichswerte berechnet: 424 kg/TJ und 522 kg/TJ. Der Summenvergleichswert daraus ist 487 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen, noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte enthalten. Die TA Luft weist für alle flüssigen Brennstoffe Emissionswerte zwischen 157-314 (≈ 500-1.000 mg/m³; Selbstzündungsmotoren, für alle flüssigen Brennstoffe, umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)) aus.

5.2.8 Emissionsfaktor NO_x –Pflanzenölester

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NO_x aus pflanzenölbefeuerten Motoren enthält nur eine Anlage ohne Angaben zur Ermittlungsart der Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den vorhandenen Daten konnte weder Emissionsfracht noch Rauchgasvolumen plausibilisiert werden. Der berechnete Emissionsfaktor der vorliegenden Anlage beträgt 32 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte enthalten. Die TA Luft weist für alle flüssigen Brennstoffe Emissionswerte zwischen 157-314 (≈ 500-1.000 mg/m³; Selbstzündungsmotoren, für alle flüssigen Brennstoffe, umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)) aus.

5.3 Kohlenmonoxid

Tabelle 32 fasst die Anlagen zusammen, die für den Schadstoff Kohlenmonoxid (CO) auswertbar waren:

Tabelle 32: Für CO auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	499	60
Deponiegas	972 / 8168	227	20
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	103	8
Klärgas	971	65	6
Biogas	974 / 9629 / 81813	34	5
Grubengas	973	23	3
Pflanzenöl	917	4	3
Pflanzenölester	9126	1	0
Methan	1	8	0
Propan	12	2	
Butan	13	2	
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	2	
Sonstiges	9999	5	
Gesamt		**975**	**105**

5.3.1 Emissionsfaktor CO – Erdgas

Tabelle 33 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus erdgasbefeuerten Motoren. Der berechnete zentrale Emissionsfaktor ist 48 kg CO/TJ Erdgas +/- 24%. Insgesamt erwiesen sich aus 499 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 32) die Daten von 469 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 49 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich 60 Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 87% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 33: Emissionsfaktoren CO – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: CO
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	469	60	13
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	82	56	29
Median der EF [kg/TJ]	35	41	11
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	133	51	51
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	97	50	94
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	45.147	44.447	44.609
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**43**	**48**	**19**
Summe Emissionen [kg/a]	1.937.311	144.208	22.604
Summe Brennstoff [TJ/a]	45.529	2.974	1.219
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-95%	-99%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	521%	279%	863%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 24%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 24 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 48 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist eingeschränkt gegeben. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 41 und 56 kg/TJ, also deutlich innerhalb der angegebenen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 24 und 86. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl bis auf 158 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 63 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 34: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff CO**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	48
Handbuch Emissionserklärungen	2004	264[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	122
NERI Technical Report No. 672, 2008; Sub-Report 3	2008	115[2]
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		92 (≈ 300 mg/m³)

[1] umgerechnet aus 12,16 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 46.000 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 18 verschiedene Motortypen ermittelt. Die einzelnen Emissionsfaktoren haben eine Schwankungsbreite von 41-256 kg/TJ.
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 34 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 82 % weit unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit - 61 % auch weit unterhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Im NERI Technical Report wird der Emissionsfaktor mit 115 kg/TJ angegeben, die Spannweite der Daten liegt zwischen 41-256 kg/TJ, d.h. der hier ermittelte Emissionsfaktor liegt innerhalb dieses Rahmens am unteren Ende. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor 48% niedriger.

5.3.2 Emissionsfaktor CO – Deponiegas

Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 179 kg CO/TJ Deponiegas +/- 14%. Insgesamt erwiesen sich aus 227 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 32) die Daten von 173 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 72 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich 20 Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 88% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 35: Emissionsfaktoren CO – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: CO
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	173	20	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	1.543	169	
Median der EF [kg/TJ]	230	176	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	17.163	41	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	142	44	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.156	14.095	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**53**	**179**	
Summe Emissionen [kg/a]	1.303.899	156.268	
Summe Brennstoff [TJ/a]	24.621	872	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-63%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	543%	24%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 14%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 14 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 179 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist merklich. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 141 und 218 kg/TJ, also noch innerhalb der angegebenen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 3 und 86. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht steigt die Anlagenzahl bis auf 96 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 254 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 36: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff CO**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	179
Handbuch Emissionserklärungen	2004	193[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	123
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		200 (≈ 650 mg/m³; Verbrennungsmotoren für Altöl und Deponiegas 5.4.8.1.b)

[1] umgerechnet aus 3,58 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 36 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 7 % nahe am Emissionsfaktor aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit + 31 % deutlich oberhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Der Emissionswert der TA Luft ist auch unter Berücksichtigung der Schwankungsbreite höher als der berechnete Emissionsfaktor.

5.3.3 Emissionsfaktor CO – Klärgas

Tabelle 37 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus klärgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 180 kg CO/TJ Klärgas +/- 30%. Insgesamt erwiesen sich aus 65 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 32) die Daten von 60 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 60 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur sechs Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 90% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 37: Emissionsfaktoren CO – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: CO
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	60	6	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	273	148	
Median der EF [kg/TJ]	248	149	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	189	54	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	719	58	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	18.560	19.834	19.992
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**12**	**180**	**56**
Summe Emissionen [kg/a]	534.460	63.200	2.586
Summe Brennstoff [TJ/a]	43.121	350	47
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-98%	-69%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	1425%	19%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 30%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 30 % Abweichung. Unter der Stoffnummer für Klärgas ist in den Emissionserklärungen in mehreren Fällen der Brennstoff Biogas angegeben worden. Nach weiterer Prüfung hat sich keine dieser Anlagen als plausibel herausgestellt und ging damit nicht in die zentrale Ergebnisberechnung ein.
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 180 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist eingeschränkt gegeben. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 141 und 186 kg/TJ, also deutlich innerhalb der angegebenen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 2 und 9. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht steigt die Anlagenzahl bis auf 30 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 236 kg/TJ. D.h. wird die Toleranzgrenze des Rauchgasvolumens auf über 50% verändert, beeinflussen schon wenige hinzu genommene Anlagen das zentrale Ergebnis. Unterhalb dieser Grenze unterliegt der Emissionsfaktor geringeren Sensitivitäten. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 38: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff CO**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	180
Handbuch Emissionserklärungen	2004	321[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	122
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		200-612 (≈ 650-2.000 mg/m³; Fremdzündungs- und Zündstrahlmotoren)

[1] umgerechnet aus 4,36 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.559 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 38 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 44 % weit unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit + 32 % näher, aber oberhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor unterhalb der gegebenen Größenordnung.

5.3.4 Emissionsfaktor CO – Biogas

Tabelle 39: Emissionsfaktoren CO – Biogas zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus biogasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 133 kg CO/TJ Biogas + 93% / - 55%. Insgesamt erwiesen sich aus 34 biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 32) die Daten von 31 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 53 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur fünf Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 84% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 39: Emissionsfaktoren CO – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: CO
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	31	5	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	198	147	
Median der EF [kg/TJ]	187	180	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	122	88	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	49	71	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	21.737	20.321	23.250
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**173**	**133**	**187**
Summe Emissionen [kg/a]	264.114	47.543	7.205
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.525	356	38
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-97%	-94%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	171%	75%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+93% / -55% lognormal**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 93 % Abweichung nach oben und 55 % nach unten.
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 133 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist merklich. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 86 und 133 kg/TJ, liegt aber damit noch weit innerhalb der angegebenen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 3 und 5. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl bis auf 12 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 156 kg/TJ. Unterhalb dieser Grenze unterliegt der Emissionsfaktor geringeren Sensitivitäten. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 40: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff CO**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	133
Handbuch Emissionserklärungen	2004	187[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Eltra PSO Report 3141 [2]	2003	>273
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		200-612 (≈ 650-2.000 mg/m³; Fremdzündungs- und Zündstrahlmotoren)

[1] umgerechnet aus 4,37 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 23.250 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 15 Motoren ermittelt. Die einzelnen Emissionsfaktoren haben eine Schwankungsbreite von 186 kg/TJ der maximale Emissionsfaktor beträgt >743 kg/TJ, der minimale 109 kg/TJ.
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 40 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 29 % unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Ein Emissionsfaktor für Biogas ist nicht im ZSE 2009 enthalten. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor unterhalb der gegebenen Größenordnung. Der ermittelte Emissionsfaktor von >273 kg/TJ des ELTRA PSO Projektes 3141 im Jahr 2003 ist verglichen mit dem Emissionsfaktor dieser Studie mehr als doppelt so hoch.

5.3.5 Emissionsfaktor CO – Grubengas

Tabelle 41 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus grubengasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 72 kg CO/TJ Grubengas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 23 grubengasbetriebenen Anlagen (Tabelle 32) die Daten von 13 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 61 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur drei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 77% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 41: Emissionsfaktoren CO – Grubengas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Grubengas	Schadstoff: CO
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	13	3	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	409	92	
Median der EF [kg/TJ]	81	81	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	826	53	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	159	175	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.646	15.764	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**77**	**72**	
Summe Emissionen [kg/a]	158.543	37.818	
Summe Brennstoff [TJ/a]	2.066	526	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	95%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Da nur drei Anlagen in die Berechnung eingegangen sind, ist eine genau quantifizierte Angabe der Unsicherheit nicht sinnvoll. Wir schätzen sie als über eine Größenordnung ab.
Es gibt fast keine Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 72 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10). Trotz dieser geringen Sensitivität ist die Datenmenge zur Berechnung mit nur sechs Anlagen gering.

Tabelle 42: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Grubengas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Grubengas Schadstoff CO**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	72
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		200 (≈ 650 mg/m³ gilt für Fremdzündungs- und Zündstrahlmotoren)
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 42 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen, noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren für Grubengas hinterlegt. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor unterhalb des Grenzwerts.

5.3.6 Emissionsfaktor CO – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 43 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 138 kg CO/TJ Heizöl EL/Diesel +/- 25%. Insgesamt erwiesen sich aus 103 heizölbetriebenen Anlagen (Tabelle 32) die Daten von 101 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 44 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur acht Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 92% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 43: Emissionsfaktoren CO – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: CO
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	101	8	3
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	459	104	39
Median der EF [kg/TJ]	161	104	9
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	2.522	34	51
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	13	5	15
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.878	42.695	42.700
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**196**	**138**	**97**
Summe Emissionen [kg/a]	258.305	5.275	4.526
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.319	38	46
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-69%	1%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	181%	15%	1%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 25%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 25 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 138 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gegeben. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 132 und 153 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 2 und 9. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl bis auf 36 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 242 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis nicht.

Tabelle 44: Vergleich von Emissionsfaktoren CO – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff CO**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	138
Handbuch Emissionserklärungen	2004	186[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	123 (Heizöl EL in Gasmotoren) 176 (Dieselkraftstoff in Dieselmotoren)
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		94 (≈ 300 mg/m³; Fremdzündungs- und Zündstrahlmotoren)

[1] umgerechnet aus 7,94 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 44 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. - 74 % unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit + 12 % oberhalb des Emissionsfaktors für Heizöl EL aus dem ZSE 2009. Der im ZSE angegebene Emissionsfaktor für Dieselkraftstoff ist ca. 28% höher als der Emissionsfaktor dieser Studie. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der vorliegende Emissionsfaktor um 47% höher.

5.3.7 Emissionsfaktor CO – Pflanzenöl

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus pflanzenölbefeuerten Motoren enthält insgesamt vier Anlagen, davon drei mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den unplausiblen Daten wurden ein Summenemissionsfaktor von 324 kg/TJ berechnet. Die TA Luft weist für alle flüssigen Brennstoffe einen Emissionsgrenzwert von 92 kg/TJ (≈ 300 mg/m³; Selbstzündungsmotoren, für alle flüssigen Brennstoffe, umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)) aus.

5.3.8 Emissionsfaktor CO – Pflanzenölester

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CO aus pflanzenölesterbefeuerten Motoren enthält nur eine Anlage ohne Angaben zur Ermittlungsart der Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Der berechnete Emissionsfaktor der vorliegenden einzigen Anlage beträgt 101 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen, noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte enthalten. Die TA Luft weist für alle flüssigen Brennstoffe einen Emissionsgrenzwert von 92 kg/TJ (≈ 300 mg/m³; Selbstzündungsmotoren, für alle flüssigen Brennstoffe, umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)) aus.

5.4 Schwefeldioxid

Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff Schwefeldioxid (SO_2) hat ergeben, dass für die Brennstoffe Pflanzenöl und Pflanzenölester keine Schwefeloxidemissionen eingetragen sind. Für alle anderen Brennstoffe sind Daten gefunden und ausgewertet worden. Die als Schwefeltrioxid angegebenen Emissionsmengen waren bedeutungslos. Die Auswertung der Schwefeldioxidemissionen enthält zusätzlich die Bandbreite der Schwefelgehalte in den Brennstoffen. Darüber hinaus wurde für die konsistenten Motoranlagen der mittlere Schwefelgehalt des jeweils betrachteten Brennstoffs berechnet. Die Vorgehensweise der Berechnung ist analog zu der des Summenemissionsfaktors, die Summe des Schwefelgehaltes der Brennstoffe aller Anlagen wurde durch die Summe des Brennstoffeinsatzes aller Anlagen geteilt. Die im Ergebnis gefundenen mittleren Schwefelgehalte sind allerdings für alle Brennstoffe unplausibel hoch und bewegen sich teilweise in einem Bereich, der aus Korrosionsgründen für die Motoren unverträglich wäre. Dies weist darauf hin, dass trotz aller in dieser Studie durchgeführten Konsistenztests der zentrale Datensatz für SO_2 der „gemessenen, konsistenten Motoranlagen“ weiterhin Anlagen mit unplausiblen Angaben enthält. Insofern ist die Verlässlichkeit der Ergebnisse für SO_2 noch kritischer zu beurteilen als die ohnehin schon auf Basis von hoher Streuung und geringer Anzahl der Datensätze geschätzten Unsicherheiten von +/- 50 % bis > 1 Größenordnung. Fehlerhafte Angaben in den Emissionserklärungen können z.B. zu (mittlerer) SO_2-Konzentration im Abgas (fehlende / falsche Normierung auf Standards zu Druck, Temperatur, Feuchte oder O_2-Gehalt des Abgas), (mittlerem) Volumenstrom, zu Betriebsstunden oder zu Brennstoffmengen und Heizwerten vorliegen. Die durchgeführten Konsistenztests beruhen immer auf dem Vergleich verschiedener Daten innerhalb jeweils eines Datensatzes der Emissionserklärungen. Eine genaue Zuordnung der zu vermutenden Fehlerquelle ist leider nicht möglich.

Tabelle 45: Für SO_2 auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	396	9
Deponiegas	972 / 8168	204	18
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	83	2
Klärgas	971	50	2
Biogas	974 / 9629 / 81813	30	5
Grubengas	973	3	1
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126	0	-
Methan	1	7	-
Propan	12	2	-
Butan	13	1	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	1	-
Gesamt		**777**	**37**

5.4.1 Emissionsfaktor SO_2 – Erdgas

Tabelle 46 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für SO_2 aus erdgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 9 kg SO_2/TJ Erdgas +/- 65%. Insgesamt erwiesen sich aus 396 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 374 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei nur ca. acht Prozent dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur neun Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 98% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 46: Emissionsfaktoren SO_2 – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: SO_2
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	374	9	30
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	1,0	7,3	0,5
Median der EF [kg/TJ]	0,4	4,3	0,4
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	2,9	8,2	0,3
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	56	45	80
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	44.306	46.750	43.706
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**1,0**	**9,3**	**0,4**
Summe Emissionen [kg/a]	20.185	3.766	1.049
Summe Brennstoff [TJ/a]	20.946	406	2.405
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-88%	-96%	-72%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	811%	134%	262%
Bandbreite Schwefelgehalt Erdgas [mg/kg]	0 - 592	8 - 521	0,35 - 36
mittlerer Schwefelgehalt Erdgas [mg/kg]	n.a.	217	n.a.
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+/- 65 %**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 65 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 9,3 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gegeben, liegt aber innerhalb der angegebenen Unsicherheit. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 7 und 12 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 4 und 15. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl bis auf 20 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 6 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 47: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff SO_2**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	9,3
Handbuch Emissionserklärungen	2004	0,43[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,50
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		3,06 (≈ 10 mg/m³; nach 5.4.1.2.3 der TA Luft)

[1] umgerechnet aus 0,02 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 46.000 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 47 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit Faktor ca. 21 außerordentlich weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit ca. demselben Faktor auch sehr weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft liegt der berechnete Emissionsfaktor näher, allerdings mit Faktor Drei immer noch deutlich höher.

5.4.2 Emissionsfaktor SO_2 – Deponiegas

Tabelle 48 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für SO_2 aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 40 kg SO_2/TJ Deponiegas +/- 48%. Insgesamt erwiesen sich aus 204 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 164 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 59 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben 18 Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 90% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 48: Emissionsfaktoren SO_2 – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: SO_2
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	164	18	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	143	44	
Median der EF [kg/TJ]	13	26	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1.351	50	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	127	44	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	13.791	14.300	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**11**	**40**	
Summe Emissionen [kg/a]	219.403	31.958	
Summe Brennstoff [TJ/a]	20.781	790	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-90%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	797%	330%	
Bandbreite Schwefelgehalt Deponiegas [mg/kg]	0,15 – 3.584	15 – 1.469	
mittlerer Schwefelgehalt Deponiegas [mg/kg]	n.a.	289	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 48%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 48 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 40 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 38 und 57 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 3 und 36. Trotz der erheblichen Schwankungen in der Anlagenanzahl, je nach Toleranz, schwankt der Emissionsfaktor im Ergebnis gering. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 49: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff SO_2**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	40
Handbuch Emissionserklärungen	2004	13[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,50
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		110 (≈ 350 mg/m³; nach 5.2.4 der TA Luft (allgemeiner Grenzwert))

[1] umgerechnet aus 0,17 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 49 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. +70% weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Wesentlich größer ist der Unterschied zum Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009, dieser liegt um 99 % unter dem dieser Studie. Im Vergleich zu den Emissionsgrenzwerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor um Faktor Zwei geringer.

5.4.3 Emissionsfaktor SO_2 – Klärgas

Tabelle 50 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für SO_2 aus klärgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 30 kg SO_2/TJ Klärgas bei sehr hohen Unsicherheiten. Insgesamt erwiesen sich aus 50 klärgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 47 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 26 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur zwei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 96% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 50: Emissionsfaktoren SO_2 – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: SO_2
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	47	2	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	42	34	
Median der EF [kg/TJ]	4	34	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	84	16	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	904	33	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	486.350	18.191	28.315
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**1**	**30**	**4**
Summe Emissionen [kg/a]	51.035	1.944	180
Summe Brennstoff [TJ/a]	42.493	66	40
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-99%	-23%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	275%	55%	
Bandbreite Schwefelgehalt Klärgas [mg/kg]	0,16 – 3.576	190 - 536	64
mittlerer Schwefelgehalt Klärgas [mg/kg]	n.a.	270	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Anlagenmenge ist die quantifizierte Berechnung der Unsicherheit des zentralen Ergebnisses nicht sinnvoll. Wir schätzen sie mit über einer Größenordnung ab.
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 30 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gegeben. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor nur wenig. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen nicht. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl bis auf 11 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 75 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 51: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff SO_2**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	30
Handbuch Emissionserklärungen	2004	5[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,50
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		95 (≈ 310 mg/m³; nach 5.4.1.2.3 der TA-Luft (siehe Bio- und Klärgas))

[1] umgerechnet aus 0,06 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.559 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 51 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit Faktor Sechs sehr weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit dem Faktor 60 außerordentlich weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Im Vergleich zum Emissionsgrenzwert der TA Luft macht der berechnete Emissionsfaktor etwa ein Drittel aus.

5.4.4 Emissionsfaktor SO_2 – Biogas

Tabelle 52 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für SO_2 aus biogasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 58 kg SO_2/TJ Biogas + / - 55%. Insgesamt erwiesen sich aus 30 biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 27 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 40 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur fünf Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 83% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 52: Emissionsfaktoren SO_2 – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: SO_2
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	27	5	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	30	38	
Median der EF [kg/TJ]	7	35	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	32	29	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	51	71	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	21.678	20.321	23.250
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**33**	**58**	**7**
Summe Emissionen [kg/a]	45.328	20.559	276
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.368	356	38
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-93%	-95%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	183%	39%	
Bandbreite Schwefelgehalt Biogas [mg/kg]	10 – 1.033	37 - 716	84
mittlerer Schwefelgehalt Biogas [mg/kg]	n.a.	586	n.a.
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+/ -55%**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 55 % Abweichung nach oben und nach unten. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 58 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist innerhalb der angegebenen Unsicherheit gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 42 und 58 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 3 und 9. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl nicht über 9 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 55 kg/TJ.

Tabelle 53: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff SO_2**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	58
Handbuch Emissionserklärungen	2004	3[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Eltra PSO Report 3141, Fachbericht vom DMU, nr.442 [2]	2003	19
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		95 (≈ 310 mg/m³; nach 5.4.1.2.3 der TA Luft (siehe Bio- und Klärgas))

[1] umgerechnet aus 0,06 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 23.250 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 5 Motoren ermittelt. Die einzelnen Emissionsfaktoren haben eine Schwankungsbreite von 9 kg/TJ; der maximale Emissionsfaktor beträgt 25 kg/TJ, der minimale 0 kg/TJ.
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 53 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit Faktor 19 erheblich oberhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Im ZSE 2009 ist kein Emissionsfaktor eingetragen. Im Vergleich zum Emissionsgrenzwert der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor um 39 % niedriger. Der ermittelte Emissionsfaktor von 19 kg/TJ des ELTRA PSO Projektes 3141 im Jahr 2003 ist etwa dreimal niedriger als der Emissionsfaktor dieser Studie.

5.4.5 Emissionsfaktor SO_2 – Grubengas

Tabelle 54 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für SO_2 aus grubengasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 2 kg SO_2/TJ Grubengas bei sehr hohen Unsicherheiten. Insgesamt erwiesen sich aus drei grubengasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 3 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Nur bei einer dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb eine Anlage, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde.

Tabelle 54: Emissionsfaktoren SO_2 – Grubengas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Grubengas	Schadstoff: SO_2
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	3	1	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	642	2	
Median der EF [kg/TJ]	67	2	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1.053		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	671		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	21.312	21.323	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**4**	**2**	
Summe Emissionen [kg/a]	8.730	3.113	
Summe Brennstoff [TJ/a]	2.012	2.009	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-64%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	4	2	
Bandbreite Schwefelgehalt Grubengas [mg/kg]	17 – 14.900	17	-
mittlerer Schwefelgehalt Grubengas [mg/kg]	46	n.a.	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnten weder Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors noch Sensitivität der Konsistenzprüfung sinnvoll berechnet werden. Wir schätzen die Unsicherheit des Summenemissionsfaktor mit über einer Größenordnung ab.

Tabelle 55: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Grubengas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Grubengas Schadstoff SO_2**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	2
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		9,5 (≈ 31 mg/m³; nach 5.4.1.2.3 der TA Luft („sonstige Gase"))
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 55 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren für Grubengas

hinterlegt. Im Vergleich zu den Emissionswerten der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor etwa um den Faktor Fünf niedriger.

5.4.6 Emissionsfaktor SO_2 – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 56 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für SO_2 aus heizölbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 66 kg SO_2/TJ Heizöl EL/Diesel bei sehr hohen Unsicherheiten. Insgesamt erwiesen sich aus 83 Heizöl-/Diesel-betriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von allen 83 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Nur bei ca. fünf Prozent dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur zwei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 98% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 56: Emissionsfaktoren SO_2 – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: SO_2
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	83	2	5
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	62	63	83
Median der EF [kg/TJ]	67	63	84
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	33	22	18
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	15	4	1
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.899	42.700	42.668
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**32**	**66**	**74**
Summe Emissionen [kg/a]	39.182	569	407
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.225	9	5
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-99%		-11%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	193%		48%
Bandbreite Schwefelgehalt Heizöl EL/Diesel [mg/kg]	10 – 3.471	1.006 – 1.674	1.404 – 2.325
mittlerer Schwefelgehalt Heizöl EL/Diesel	n.a.	1.411	n.a.
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnten weder Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors noch Sensitivität der Konsistenzprüfung sinnvoll berechnet werden. Wir schätzen die Unsicherheit des Summenemissionsfaktor mit über einer Größenordnung ab.

Tabelle 57: Vergleich von Emissionsfaktoren SO_2 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff SO_2**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	66
Handbuch Emissionserklärungen	2004	70[1] (Heizöl EL) 16 (Diesel in Dieselmotoren)
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	61 (Heizöl EL in Gasmotoren) 0,37 (Diesel in Dieselmotoren)
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		Keine Angabe zur Abgaskonzentration, Verweis auf Brennstoffnorm

[1] umgerechnet aus 3 kg/t für Heizöl EL und 0,07 kg/t für Diesel über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 57 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit –6% nur wenig unterhalb des Emissionsfaktors für Heizöl EL aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Der im Handbuch ausgewiesene Emissionsfaktor für Dieselkraftstoff ist viermal kleiner als das Ergebnis hier. Und mit + 8% auch nur gering oberhalb des Emissionsfaktors für Heizöl EL im ZSE. Der im ZSE hinterlegte Emissionsfaktor für Dieselkraftstoff unterscheidet sich sehr deutlich vom ermittelten Ergebnis. In der TA Luft sind keine Angaben zur Konzentration von Schwefeldioxid-Emissionen aus Heizölbetrieb gemacht worden. Obwohl die zum Vergleich herangezogenen Emissionsfaktoren gut mit dem berechneten Emissionsfaktor dieser Studie überein stimmen, ist die Repräsentativität des Ergebnisses aufgrund der sehr kleinen Datenmenge zu hinterfragen. In der Praxis hängt der Emissionsfaktor linear vom Schwefelgehalt des eingesetzten Kraftstoffes ab.

5.5 Ammoniak

Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff Ammoniak (NH_3) hat ergeben, dass ausschließlich für den Brennstoff Heizöl Ammoniakemissionen eingetragen sind. Für alle anderen Brennstoffe sind keine Daten gefunden worden.

5.5.1 Emissionsfaktor NH_3 – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 58 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NH_3 aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor ermittelt werden: Insgesamt erwiesen sich aus fünf heizölbetriebenen Anlagen alle Daten als sinnvoll auswertbar. Bei den fünf berechneten Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb allerdings keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte.

Tabelle 58: Emissionsfaktoren NH_3 – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: NH_3
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	5	0	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	48		
Median der EF [kg/TJ]	17		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	57		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	11		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.700		
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**53**		
Summe Emissionen [kg/a]	2.848		
Summe Brennstoff [TJ/a]	54		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-95%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	163%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Ein zentrales Ergebnis konnte nicht ermittelt werden. Lediglich aus dem stark unplausiblen Datensatz konnte ein Vergleichswert von 53 kg NH_3/TJ Heizöl EL/Diesel berechnet werden.

Tabelle 59: Vergleich von Emissionsfaktoren NH_3 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff NH_3**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(53)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	2,5
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		9 (≈ 30 mg/m³ TA Luft Nr.5.2.4)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 59 vergleicht den gefundenen Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Im Handbuch zu den Emissionserklärungen ist kein Eintrag enthalten. Der Emissionsfaktor im ZSE 2009 ist mit Faktor 20 erheblich niedriger. Der Emissionsgrenzwert der TA Luft wäre bei so einem Emissionsfaktor deutlich überschritten.

5.6 Lachgas

Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff Lachgas (N_2O) hat ergeben, dass für die Brennstoffe Grubengas, Pflanzenöl und Pflanzenölester keine Lachgasemissionen eingetragen sind. Für alle anderen Brennstoffe sind Daten gefunden und ausgewertet worden.

Tabelle 60: Für N_2O auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	201	0
Deponiegas	972 / 8168	69	0
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	49	0
Klärgas	971	25	0
Biogas	974 / 9629 / 81813	16	0
Grubengas	973	0	-
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126	0	-
Methan	1	1	-
Propan	12	1	-
Butan	13	2	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	1	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**365**	**0**

5.6.1 Emissionsfaktor N_2O – Erdgas

Tabelle 73 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für N_2O aus erdgasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 201 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 192 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte somit aus keiner Anlage, ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden

Tabelle 61: Emissionsfaktoren N_2O – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: N_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	192	0	14
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	2		2
Median der EF [kg/TJ]	2		3
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1		1
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	49		51
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	45.134		45.628
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**2**		**2**
Summe Emissionen [kg/a]	17.869		1.757
Summe Brennstoff [TJ/a]	9.455		716
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-94%		-58%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	208%		14%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Lediglich aus dem stark unplausiblen Datensatz von 192 Anlagen konnte ein Vergleichswert von 2 kg N_2O/TJ Erdgas berechnet werden. Weiterhin wurde aus den konsistenten Daten gemessener Emissionen ein Vergleichswert von 2 kg/TJ berechnet. Beide sind nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 62: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff N_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(2)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	3[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	1
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 0,129 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 46.000 kJ/kg

Tabelle 74 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der Vergleichswert von je 2 kg/TJ dieser Studie liegt unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklä-

rungen aus dem Jahr 2004. Und ist doppelt so hoch wie der Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009. In ihrer Größenordnung unterscheiden sich alle Werte nicht stark voneinander.

5.6.2 Emissionsfaktor N_2O – Deponiegas

Tabelle 63 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für N_2O aus deponiegasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 69 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 53 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei einer dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte dem Datensatz keiner dieser Anlagen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden

Tabelle 63: Emissionsfaktoren N_2O – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: N_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	53	0	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	2		
Median der EF [kg/TJ]	3		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	2		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	31		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.996		
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**2**		
Summe Emissionen [kg/a]	2.663		
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.662		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	169%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Lediglich aus dem stark unplausiblen Datensatz von 53 Anlagen konnte ein Vergleichswert von 2 kg N_2O/TJ Deponiegas berechnet werden. Dieser ist nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 64: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff N_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(2)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	3[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	1
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-
[1] umgerechnet aus 0,0354 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg		

Tabelle 64 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert von je 2 kg/TJ dieser Studie liegt unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und ist doppelt so hoch wie der Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009. In ihrer Größenordnung unterscheiden sich alle Werte nicht stark voneinander.

5.6.3 Emissionsfaktor N_2O – Klärgas

Tabelle 65 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für N_2O aus klärgasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 25 klärgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von allen Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte aus dem Datensatz keiner dieser Anlagen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden

Tabelle 65: Emissionsfaktoren N_2O – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: N_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	25	0	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	3		
Median der EF [kg/TJ]	4		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	34		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	18.682		
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**3**		
Summe Emissionen [kg/a]	2.935		
Summe Brennstoff [TJ/a]	862		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-46%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	45%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Aus dem stark unplausiblen Datensatz von 25 Anlagen konnte lediglich ein Vergleichswert von 3 kg N_2O/TJ Klärgas berechnet werden. Dieser ist nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 66: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff N_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(3)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	4[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	1
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 0,0478 über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg

Tabelle 66 vergleicht den berechneten nicht repräsentativen Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert von je 2 kg/TJ dieser Studie liegt unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und ist dreimal so hoch wie der Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009. In ihrer Größenordnung unterscheiden sich alle Werte nicht stark voneinander.

5.6.4 Emissionsfaktor N_2O – Biogas

Tabelle 67 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für N_2O aus biogasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 16 biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 14 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte aus dem Datensatz keiner dieser Anlagen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden.

Tabelle 67: Emissionsfaktoren N_2O – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: N_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	14	0	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	2		2
Median der EF [kg/TJ]	2		2
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	0		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	50		38
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	22.594		23.250
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**2**		**2**
Summe Emissionen [kg/a]	1.460		79
Summe Brennstoff [TJ/a]	700		38
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-19%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	27%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Aus dem stark unplausiblen Datensatz von 14 Anlagen konnte lediglich ein Vergleichswert von 2 kg N_2O/TJ Biogas berechnet werden. Weiterhin erwies sich von den Anlagen mit berechneten Datensätzen eine Anlage als konsistent, daraus errechnete sich ein Vergleichswert von 2 kg/TJ. Beide Werte sind nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 68: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff N_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(2)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	2[1]
Eltra PSO Report 3141 [2]	2003	0,5
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 0,0478 über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für einen Motor ermittelt.

Tabelle 68 vergleicht den nicht repräsentativen Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert von je 2 kg/TJ dieser Studie entspricht dem Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Das heißt, die in den Emissionserklärungen angegebenen Emissionen sind wahrscheinlich mit dem Faktor aus dem Handbuch berechnet worden. Im ZSE 2009 ist kein Emissionsfaktor hinterlegt. Der ermittelte Emissionsfaktor von 0,5 kg/TJ des ELTRA PSO Projektes 3141 im Jahr 2003 ist viermal niedriger als der ermittelte Vergleichswert dieser Studie.

5.6.5 Emissionsfaktor N_2O – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 69 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für N_2O aus mit Heizöl-/Diesel befeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 49 Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 48 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte aus dem Datensatz keiner dieser Anlagen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden

Tabelle 69: Emissionsfaktoren N_2O – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: N_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	48	0	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	13		
Median der EF [kg/TJ]	15		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	7		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	12		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.690		
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**10**		
Summe Emissionen [kg/a]	6.024		
Summe Brennstoff [TJ/a]	574		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-96%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	55%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Aus dem stark unplausiblen Datensatz von 48 Anlagen konnte lediglich ein Vergleichswert von 10 kg N_2O/TJ Heizöl EL/Diesel berechnet werden. Dieser ist nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 70: Vergleich von Emissionsfaktoren N_2O – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff N_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(10)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	15[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	1,46 – 1,64
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 0,6482 über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg

Tabelle 70 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert von je 10 kg/TJ dieser Studie liegt 50% unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und ist sechs- bis siebenmal höher als der Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009.

5.7 Methan

Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff Methan (CH_4) hat ergeben, dass für die Brennstoffe Grubengas und Pflanzenölester keine Methanemissionen eingetragen sind. Für alle anderen Brennstoffe sind Daten gefunden und ausgewertet worden.

Tabelle 71: Für CH_4 auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	350	1
Deponiegas	972 / 8168	105	1
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	73	0
Klärgas	971	40	0
Biogas	974 / 9629 / 81813	19	0
Grubengas	973	0	-
Pflanzenöl	917	1	0
Pflanzenölester	9126	0	-
Methan	1	3	-
Propan	12	0	-
Butan	13	0	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**591**	**2**

5.7.1 Emissionsfaktor CH_4 – Erdgas

Tabelle 72 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus erdgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 309 kg CH_4/TJ Erdgas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 350 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 71) die Daten von 332 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei nur ca. einem Prozent dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb nur eine Anlage, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 99% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 72: Emissionsfaktoren CH_4 – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: CH_4
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	332	1	29
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	115		89
Median der EF [kg/TJ]	175		51
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	105		91
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	56		79
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	44.498	44.341	43.784
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**109**	**309**	**126**
Summe Emissionen [kg/a]	2.048.335	29.092	290.430
Summe Brennstoff [TJ/a]	18.728	94	2.304
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	**109**	**309**	**126**
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	2.048.335	29.092	290.430
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnten weder Unsicherheit des Summenemissionsfaktors noch Sensitivität der Konsistenzprüfung sinnvoll berechnet werden. Wir schätzen die Unsicherheit des Summenemissionsfaktor mit über einer Größenordnung ab. Der hier errechnete Emissionsfaktor ging aus nur einer einzigen plausiblen Anlage hervor. Die Vergleichsergebnisse in Tabelle 72, die aus wesentlich mehr, aber auch weniger plausiblen Datensätzen ermittelt wurden, liegen deutlich darunter.

Tabelle 73: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff CH_4**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	309
Handbuch Emissionserklärungen	2004	185[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,30
NERI Technical Report No. 672, 2008; Sub-Report 3	2008	465[2]
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 8,5 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 46.000 kJ/kg
[2] Der Emissionsfaktor beruht auf Messungen an 13 Anlagen. Für CH_4 wurde in dieser Studie keine Spannweite angegeben.

Tabelle 73 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit ca. + 67 % weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Der Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009 unterscheidet sich in der Größenordnung massiv von dem hier ermittelten. Im NERI Technical Report wird der Emissionsfaktor mit 456 kg/TJ angegeben, der in dieser Studie ermittelte Emissionsfaktor liegt 34% darunter. In der TA Luft sind keine Emissionsgrenzwerte angegeben.

5.7.2 Emissionsfaktor CH_4 – Deponiegas

Tabelle 74 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 3 kg CH_4/TJ Deponiegas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 105 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 71) die Daten von 84 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei nur ca. sechs Prozent dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb lediglich eine Anlage, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 99% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 74: Emissionsfaktoren CH_4 – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: CH_4
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	84	1	3
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	141		92
Median der EF [kg/TJ]	156		133
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	128		79
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	32		49
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	15.444	13.310	17.016
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**112**	**3**	**105**
Summe Emissionen [kg/a]	301.814	3	15.437
Summe Brennstoff [TJ/a]	2.704	1	148
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-99%		-99%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	106%		36%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnten weder die Unsicherheit des Summenemissionsfaktors noch die Sensitivität der Konsistenzprüfung sinnvoll berechnet werden. Wir schätzen die Unsicherheit des Summenemissionsfaktor mit über einer Größenordnung ab. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 3 und 336 kg/TJ.

Allerdings schwankt die Zahl der Anlagen zwischen eins und vier. Der hier errechnete Emissionsfaktor ging aus nur einer einzigen plausiblen Anlage hervor. Die Vergleichsergebnisse in Tabelle 72, die aus wesentlich mehr, aber auch unplausiblen Datensätzen ermittelt wurden, liegen fast zwei Größenordnungen darüber. Der ermittelte Emissionsfaktor ist nicht repräsentativ; die Ergebnisse unterscheiden sich je nach Rahmenbedingung der Prüfungen stark.

Tabelle 75: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff CH_4**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	3
Handbuch Emissionserklärungen	2004	179[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,30
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-
[1] umgerechnet aus 2,38 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg		

Tabelle 75 vergleicht den berechneten Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt um Faktor 60 deutlich unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Und mit Faktor 10 deutlich oberhalb des Emissionsfaktors aus dem ZSE 2009. Alle drei berechneten Emissionsfaktoren unterscheiden sich in ihrer Größenordnung erheblich voneinander. Der von uns ermittelte Faktor kann als nicht repräsentativ angesehen werden, da er aus dem Datensatz von nur einer Anlage errechnet wurde. Die vergleichenden Emissionsfaktoren in Tabelle 75 aus einem größeren, aber auch unplausiblen Datensatz unterscheiden sich deutlich.

5.7.3 Emissionsfaktor CH_4 – Klärgas

Tabelle 76 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus klärgasbefeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor aus den vorhandenen Emissionserklärungen berechnet werden. Insgesamt erwiesen sich aus 40 klärgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 71) die Daten von 37 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei nur ca. fünf Prozent dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte.

Tabelle 76: Emissionsfaktoren CH_4 – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: CH_4
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	37	0	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	78		
Median der EF [kg/TJ]	68		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	94		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	37		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	19.286		28.315
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**129**		**68**
Summe Emissionen [kg/a]	176.561		
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.374		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-99%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	219%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Lediglich aus dem stark unplausiblen Datensatz konnte ein Vergleichswert von 129 kg CH_4/TJ Klärgas berechnet werden. Ab einer zugelassenen Schwankungsbreite von 40 % - >100 % der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) gelten auch die Daten von ein bis zwei Anlagen mit gemessenen Werten als konsistent. Der dann errechnete Summenemissionsfaktor liegt zwischen 410 und 412 kg/TJ. Die Datenmenge ist sehr gering, die Ergebnisse schwanken stark, weil keine Konsistenz vorhanden ist.

Tabelle 77: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff CH_4**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(129)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	22[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,30
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 0,92 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.559 kJ/kg

Tabelle 77 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert dieser Studie liegt mit ca. Faktor Sechs weit oberhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Der Emissionsfaktor aus dem ZSE 2009 unterscheidet sich in der Größenordnung massiv von dem hier ermittelten. Der ermittelte Vergleichswert dieser Studie ist nicht repräsentativ, da er auf einem wenig plausiblen Datensatz basiert. Auch die Ermittlung vom Vergleichsemissionsfaktor aus den berechneten Datensätzen basiert auf nur einer Anlage.

5.7.4 Emissionsfaktor CH_4 – Biogas

Tabelle 78 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus biogasbefeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor aus den vorhandenen Emissionserklärungen berechnet werden. Insgesamt erwiesen sich aus 19 biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 71) die Daten von 17 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb demnach keine Anlage, aus deren Datensatz ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet wurde.

Tabelle 78: Emissionsfaktoren CH_4 – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: CH_4
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	17	0	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	38		
Median der EF [kg/TJ]	40		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	10		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	47		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	22.607		23.250
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**40**		**40**
Summe Emissionen [kg/a]	31.298		1.522
Summe Brennstoff [TJ/a]	791		38
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-91%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	0%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Lediglich aus dem stark unplausiblen Datensatz konnte ein Vergleichswert von 40 kg CH_4/TJ Biogas berechnet werden.

Tabelle 79: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff CH_4**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(40)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Eltra PSO Report 3141 [1]	2003	323
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-
[1] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 13 Motoren ermittelt. Der maximale gemessene Emissionsfaktor beträgt 770 kg/TJ, der minimale 166 kg/TJ.		

Tabelle 79 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert dieser Studie ist nicht repräsentativ, da er auf einem wenig plausiblen Datensatz basiert. Auch die Ermittlung von Vergleichswerten aus den berechneten Datensätzen basiert auf nur einer Anlage und liefert damit kein repräsentatives Ergebnis. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind vergleichbare Emissionsfaktoren hinterlegt. Der ermittelte Emissionsfaktor von 323 kg/TJ des ELTRA PSO Projektes 3141 im Jahr 2003 ist mit Faktor Acht deutlich höher als der ermittelte Vergleichswert dieser Studie.

5.7.5 Emissionsfaktor CH_4 – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 80 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor aus den vorhandenen Emissionserklärungen berechnet werden. Insgesamt erwiesen sich aus 73 heizölbetriebenen Anlagen (Tabelle 71) die Daten von 72 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb demnach keine Anlage, aus deren Datensatz ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte.

Tabelle 80: Emissionsfaktoren CH_4 – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: CH_4
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	72	0	3
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	52		
Median der EF [kg/TJ]	61		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	39		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	14		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.961		42.700
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**66**		**9**
Summe Emissionen [kg/a]	63.901		4
Summe Brennstoff [TJ/a]	975		0,4
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-98%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	182%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Lediglich aus dem stark unplausiblen Datensatz konnte ein Vergleichswert von 66 kg CH_4/TJ Heizöl EL berechnet werden.

Tabelle 81: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_4 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff CH_4**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(66)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	61[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	3,5
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		-

[1] umgerechnet aus 2,6 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg

Tabelle 81 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie ist nicht repräsentativ, da er auf einem wenig plausiblen Datensatz basiert. Auch die Ermittlung von einem Vergleichswert aus den berechneten Datensätzen basiert auf nur drei Anlagen und liefert damit kein repräsentatives Ergebnis. Der Emissionsfaktor, der aufgrund der Datenlage bei den Emissionserklärungen berechnet werden konnte, liegt nur acht Prozent über dem im Handbuch zu den Emissionserklärungen genannten.

5.7.6 Emissionsfaktor CH_4 – Pflanzenöl

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus pflanzenölbefeuerten Motoren enthält nur eine Anlage. Die Emissionen sind als berechnet und nicht als gemessen angegeben, der ermittelte vergleichbare Emissionsfaktor beträgt 5 kg CH_4/TJ Pflanzenöl.

5.8 Benzo(a)pyren

In den Emissionserklärungen 2004 wurden lediglich für mit Erdgas, mit Deponiegas und für mit Heizöl EL bzw. Dieselkraftstoff befeuerte Motorenanlagen Emissionen an Benzo(a)pyren ($C_{20}H_{12}$) angegeben. Für die anderen Brennstoffe konnten somit keine Emissionsfaktoren ermittelt werden.

Tabelle 82: Für B(a)P auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	6	0
Deponiegas	972 / 8168	46	3
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	70	0
Klärgas	971	0	-
Biogas	974 / 9629 / 81813	0	-
Grubengas	973	0	-
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126	0	-
Methan	1	0	-
Propan	12	0	-
Butan	13	0	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**122**	3

5.8.1 Emissionsfaktor B(a)P – Erdgas

Tabelle 83 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für $C_{20}H_{12}$ aus erdgasbefeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor aus den vorhandenen Emissionserklärungen berechnet werden. Insgesamt erwiesen sich aus sechs erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 82) die Daten von drei Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb demnach keine Anlage, aus deren Datensatz ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet wurde.

Tabelle 83: Emissionsfaktoren B(a)P – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: B(a)P
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	3	0	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [g/TJ]	0,16		
Median der EF [g/TJ]	0,19		
Standardabweichung der EF [g/TJ]	0,27		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	74		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	40.364		50.000
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [g/TJ]	**0,25**		**0,0040**
Summe Emissionen [g/a]	55		0,10
Summe Brennstoff [TJ/a]	221		24
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-98%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	16%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Der mögliche Vergleichswerte, der berechnet werden konnte, beträgt 0,25 g B(a)P /TJ Erdgas aus einer unplausiblen Datenmenge. Aus drei Anlagen, deren Daten konsistent sind, aber auf Rechnungen und nicht auf Messungen beruhen, resultiert ein Vergleichswert von 0,0040 g B(a)P / TJ Erdgas. Beide Werte sind nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 84: Vergleich von Emissionsfaktoren B(a)P – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff B(a)P**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [g/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(0,25 / 0,0040)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,001
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [g/TJ]		15 (≈ 0,05 mg/m^3 vgl. TA Luft 5.2.7.1.1)

[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 84 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Im Rahmen dieser Studie konnte ein Emissionsfaktor aus einem unplausiblen Datensatz von 0,25 g/TJ ermittelt werden. Ein weiterer von 0,0040 g/TJ ergab sich aus berechneten Datensätzen. Diese beiden Ergebnisse unterscheiden sich um den Faktor 62 und zeigen die schlechte Datenlage und die geringe Be-

lastbarkeit. Nur im ZSE 2009 ist ein Emissionsfaktor von 0,001 g B(a)P / TJ Erdgas hinterlegt, der wesentlich unterhalb der Ergebnisse dieser Studie liegt.

5.8.2 Emissionsfaktor B(a)P – Deponiegas

Tabelle 85 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für B(a)P aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 0,13 g B(a)P /TJ Deponiegas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 46 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 82) die Daten von 36 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 33 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur drei Anlagen, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 93 % der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 85: Emissionsfaktoren B(a)P – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: B(a)P
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	36	3	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [g/TJ]	0,189	0,127	
Median der EF [g/TJ]	0,003	0,137	
Standardabweichung der EF [g/TJ]	0,016	0,068	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	49	13	0,41
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.776	13.308	13.500
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [g/TJ]	0,558	0,13	0,004
Summe Emissionen [g/a]	992	5,2	0,002
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.776	40	0,405
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-58%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	1033%	46%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 2 Größenordnungen**	n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnten die Unsicherheit des Summen-EF und die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 0,129 und 5,056 g/TJ. Allerdings bleibt die Zahl der Anlagen mit eins bis fünf durchgehend gering. Der ermittelte Emissionsfaktor von 0,13 g/TJ ist variabel und die Ergebnisse unterscheiden sich je nach Rahmenbedingung der Prüfungen stark. Wir schätzen die Unsicherheit des Emissionsfaktors mit über zwei Größenordnungen ab.

Tabelle 86: Vergleich von Emissionsfaktoren B(a)P – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff B(a)P**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [g/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	0,129
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,001
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [g/TJ]		15 (≈ 0,05 mg/m^3 vgl. TA Luft 5.2.7.1.1)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 86 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt um etwa den Faktor 100 unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Zentralen System Emissionen. Im Handbuch zu den Emissionserklärungen ist kein Emissionsfaktor hinterlegt.

5.8.3 Emissionsfaktor B(a)P – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 87 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für B(a)P aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor gefunden werden. Insgesamt erwiesen sich aus 70 Anlagen (Tabelle 82) die Daten von allen 70 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei nur einer dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensatz ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte.

Tabelle 87: Emissionsfaktoren B(a)P – Heizöl EL / Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: B(a)P
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	70	0	3
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [g/TJ]	0,48		0,47
Median der EF [g/TJ]	0,47		0,47
Standardabweichung der EF [g/TJ]	0,24		0,0001
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	14		0
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.433		42.700
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [g/TJ]	0,37		0,47
Summe Emissionen [g/a]	355		0,18
Summe Brennstoff [TJ/a]	963		0
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-96%		0%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	51%		-100%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Die möglichen Vergleichswerte, die berechnet werden konnten, betragen 0,37 g B(a)P / TJ Heizöl EL/Diesel aus einer unplausiblen Datenmenge. Aus drei Anlagen, deren Daten konsistent sind, aber auf Rechnungen und nicht auf Messungen beruhen, resultiert ein Vergleichswert von 0,47 g B(a)P / TJ Heizöl EL/Diesel. Diese sind nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 88: Vergleich von Emissionsfaktoren B(a)P – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff B(a)P**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [g/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(0,037 / 0, 47)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	0,47[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,47
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [g/TJ]		15 (≈ 0,05 mg/m^3 vgl. TA Luft 5.2.7.1.1)

[1] umgerechnet aus 0,2 g/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 88 vergleicht die gefundenen Emissionsfaktoren mit anderen Literaturquellen. Einer der Emissionsfaktoren aus dieser Studie ist identisch mit den Emissionsfaktoren aus dem Handbuch

Emissionserklärungen und dem Zentralen System Emissionen. Dadurch wird deutlich, dass zur Berechnung der Emissionsdaten in den ausgewerteten Emissionserklärungen der Emissionsfaktor aus dem Handbuch Emissionserklärungen herangezogen wurde. Diese beiden Emissionsfaktoren sind identisch.

5.9 Benzol

In den Emissionserklärungen 2004 wurden lediglich für mit Deponiegas und für mit Heizöl EL bzw. Dieselkraftstoff befeuerte Motorenanlagen Emissionen an Benzol (C_6H_6)angegeben. Für die anderen Brennstoffe konnten somit keine Emissionsfaktoren ermittelt werden.

Tabelle 89: Für Benzol auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	0	-
Deponiegas	972 / 8168	31	3
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	17	0
Klärgas	971	0	-
Biogas	974 / 9629 / 81813	0	-
Grubengas	973	0	-
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126		-
Methan	1	0	-
Propan	12	0	-
Butan	13	0	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	1	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**49**	**3**

5.9.1 Emissionsfaktor Benzol – Deponiegas

Tabelle 90 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für C_6H_6 aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 42 g C_6H_6/TJ Deponiegas bei hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 31 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 89) die Daten von 24 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 87 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur drei Anlagen, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 88 % der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 90: Emissionsfaktoren C_6H_6 – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: C_6H_6
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	24	3	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [g/TJ]	181	46	
Median der EF [g/TJ]	73	65	
Standardabweichung der EF [g/TJ]	251	33	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	53	37	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.623	14.714	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [g/TJ]	**115**	**42**	
Summe Emissionen [kg/a]	147	5	
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.281	112	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-94%	-83%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	339%	56%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	

Aufgrund der geringen Datenmenge konnten weder Unsicherheit des Emissionsfaktors noch Sensitivität der Konsistenzprüfung sinnvoll berechnet werden. Wir schätzen die Unsicherheit des Summen-Emissionsfaktors mit über einer Größenordnung ab.

Tabelle 91: Vergleich von Emissionsfaktoren C_6H_6 – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff C_6H_6**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [g/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	42
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [g/TJ][1]		306 (≈1 mg/m^3 vgl. TA Luft 5.2.7.1.1)

[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 91 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Für das Ergebnis konnten weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 Vergleichswerte gefunden werden.

5.9.2 Emissionsfaktor Benzol – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 92 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für C_6H_6 aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Es konnte kein belastbarer Emissionsfaktor gefunden werden. Insgesamt erwiesen sich aus 17 heizölbetriebenen Anlagen (Tabelle 89) die Daten von 17 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensatz ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte.

Tabelle 92: Emissionsfaktoren C_6H_6 – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: C_6H_6
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	17	0	3
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [g/TJ]	5,1		5,7
Median der EF [g/TJ]	5,6		5,6
Standardabweichung der EF [g/TJ]	2,3		0,207
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	21		0
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.677		42.557
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [g/TJ]	**2,1**		**5,9**
Summe Emissionen [g/a]	759		7,2
Summe Brennstoff [TJ/a]	363		1
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-92%		-4%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	150%		-100%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden. Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Ein möglicher Vergleichswert, der berechnet werden konnte, beträgt 2,1 g C_6H_6/TJ Heizöl EL/Diesel aus einer unplausiblen Datenmenge. Aus drei Anlagen, deren Daten konsistent sind, aber auf Rechnungen und nicht auf Messungen beruhen, resultiert ein Vergleichswert von 5,9 kg C_6H_6/TJ Heizöl EL/Diesel. Beide Werte sind nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 93: Vergleich von Emissionsfaktoren C_6H_6 – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff C_6H_6**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [g/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(2,1 / 5,9)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	5,6[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [g/TJ]		314 (≈1 mg/m³ vgl. TA Luft 5.2.7.1.1)

[1] umgerechnet aus 0,000239 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 93 vergleicht die Vergleichswerte mit anderen Literaturquellen. Die Ergebnisse dieser Studie unterscheiden sich untereinander um den Faktor Drei. Verglichen mit dem Emissionsfaktor aus dem Handbuch wird deutlich, dass zur Berechnung der Emissionsdaten in den ausgewerteten Emissionserklärungen auch dieser herangezogen wurde. Die beiden Werte 5,6 und 5.9 g/TJ unterscheiden sich nur um vier Prozent. Die ermittelten Vergleichswerte sind nicht repräsentativ und belastbar.

5.10 Formaldehyd

Lediglich für den Brennstoff Pflanzenöl wurden keine Emissionsdaten zum Schadstoff Formaldehyd gefunden.

Tabelle 94: Für CH_2O auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	39	3
Deponiegas	972 / 8168	61	7
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	8	2
Klärgas	971	15	1
Biogas	974 / 9629 / 81813	9	2
Grubengas	973	21	5
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126	1	0
Methan	1	1	-
Propan	12	0	-
Butan	13	0	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**155**	**20**

5.10.1 Emissionsfaktor Formaldehyd – Erdgas

Tabelle 95 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_2O aus erdgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 8 kg CH_2O/TJ Erdgas. Insgesamt erwiesen sich aus 39 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 94) die Daten von allen 39 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 90 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur drei Anlagen, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 92 % der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 95: Emissionsfaktoren CH_2O – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: CH_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	39	3	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	10	9	
Median der EF [kg/TJ]	2	6	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	19	8	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	109	29	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	47.670	40.823	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**8**	**8**	
Summe Emissionen [kg/a]	34.046	667	
Summe Brennstoff [TJ/a]	4.236	88	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-57%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	1059%	139%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Da nur drei Anlagen in die Berechnung eingegangen sind, ist eine genau quantifizierte Angabe der Unsicherheit des Summenemissionsfaktors nicht sinnvoll. Wir schätzen sie als über eine Größenordnung ab. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 4 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 6 und 9 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen zwei und acht. Wird die Toleranz des Rauchgasvolumens auf über 50 % erhöht, sinkt der Emissionsfaktor zunächst auf 4 kg/TJ bei einer Anlagenzahl zwischen 10 und 19. Mit weiter zunehmender Schwankungsbreite steigt die Anlagenzahl auf maximal 22 mit einem Emissionsfaktor von 9 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum. Der hier errechnete Emissionsfaktor von 8 kg/TJ hängt nach den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse stark davon ab, welche spezifischen Rauchgasvolumina als plausibel zugelassen werden.

Tabelle 96: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff CH_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	8
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		18 (≈ 60 mg/m³)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O2)		

Tabelle 96 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der Summen-EF liegt deutlich unterhalb des TA Luft-Emissionswerts. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren eingetragen.

5.10.2 Emissionsfaktor Formaldehyd – Deponiegas

Tabelle 97 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_4 aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 4 kg CH_2O/TJ Deponiegas + 157 % / -72 %. Insgesamt erwiesen sich aus 61 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 94) die Daten von 48 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei allen Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich sieben Anlagen, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 85% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 97: Emissionsfaktoren CH_2O – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: CH_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	48	7	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	22	9	
Median der EF [kg/TJ]	15	9	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	9	4	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	342	32	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	13.458	15.993	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**1**	**4**	**1**
Summe Emissionen [kg/a]	14.188	840	14.188
Summe Brennstoff [TJ/a]	16.394	227	16.394
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-87%	-100%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	1923%	463%	1923%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ 157% / -72% lognormal**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 157 % Abweichung nach oben und 72 % nach unten. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 4 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist ausgeprägt. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 4 und 20 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 1 und 11. Wird die Toleranzgrenze auf 50 % und größer erhöht, liegt der Emissionsfaktor zwischen 15 und 17 kg/TJ und die Anlagenzahl zwischen 14 und 24. Das Rauchgasvolumen hat einen großen Einfluss auf das Ergebnis des Emissionsfaktors. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis wenig.

Tabelle 98: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff CH_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	4
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet in [kg/TJ]		18 (≈ 60 mg/m³)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O2)		

Tabelle 98 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der Summen-EF liegt deutlich unterhalb des TA Luft-Emissionswerts. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren eingetragen.

5.10.3 Emissionsfaktor Formaldehyd – Klärgas

Tabelle 99 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_2O aus klärgasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 17 kg CH_2O/TJ Klärgas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus 15 klärgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 94) die Daten von allen Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 93 % der Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb lediglich eine Anlage, aus deren Datensatz der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 93% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 99: Emissionsfaktoren CH_2O – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: CH_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	15	1	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	23		
Median der EF [kg/TJ]	17		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	26		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	57		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	18.853	13.559	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**15**	**17**	
Summe Emissionen [kg/a]	12.995	363	
Summe Brennstoff [TJ/a]	855	22	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	231%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Anlagenmenge ist die quantifizierte Berechnung der Unsicherheit des zentralen Ergebnisses nicht sinnvoll. Wir schätzen sie mit über einer Größenordnung ab.
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 17 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 17 und 19 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen eins und drei. Wird die Toleranzgrenze auf 50 % und größer erhöht, liegt der Emissionsfaktor zwischen 19 und 21 kg/TJ und die Anlagenzahl zwischen 5 und 11. Das Rauchgasvolumen hat einen mittleren Einfluss auf das Ergebnis des Emissionsfaktors. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis wenig.

Tabelle 100: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff CH_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	17
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		18 (≈ 60 mg/m³)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O2)		

Tabelle 100 vergleicht den gefunden Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der Faktor liegt sehr nahe am TA Luft-Emissionswert. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren eingetragen.

5.10.4 Emissionsfaktor Formaldehyd – Biogas

Tabelle 101 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_2O aus biogasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 10 kg CH_2O/TJ Biogas bei sehr hoher Unsicherheit. Insgesamt erwiesen sich aus neun biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 94) die Daten von allen Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 88 % der Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich zwei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 88 % der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 101: Emissionsfaktoren CH_2O – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: CH_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	9	2	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	7	10	
Median der EF [kg/TJ]	4	10	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	8	10	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	64	35	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	23.864	23.224	27.100
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**9**	**10**	
Summe Emissionen [kg/a]	5.222	715	655
Summe Brennstoff [TJ/a]	576	71	101
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-65%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	103%	71%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Anlagenmenge ist die quantifizierte Berechnung der Unsicherheit des zentralen Ergebnisses nicht sinnvoll. Wir schätzen sie mit über einer Größenordnung ab.
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 10 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 10 und 14 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen zwei und fünf. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis wenig.

Tabelle 102: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff CH_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	10
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Eltra PSO Report 3141 [1]	2003	21
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		18 (≈ 60 mg/m³)

[1] Der Emissionsfaktor wurde aus gemessenen Daten für 7 Motoren ermittelt. Die einzelnen Emissionsfaktoren haben eine Schwankungsbreite von 7 kg/TJ; der maximale Emissionsfaktor beträgt 30 kg/TJ, der minimale 13 kg/TJ.
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O2)

Tabelle 102 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der Summen-EF liegt deutlich unterhalb des TA Luft-Emissionswerts. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren eingetragen. Der ermittelte Emissionsfaktor von 10 kg/TJ des ELTRA PSO Projektes 3141 im Jahr 2003 ist, verglichen mit dem Emissionsfaktor dieser Studie, mehr als doppelt so hoch.

5.10.5 Emissionsfaktor Formaldehyd – Grubengas

Tabelle 103 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_2O aus grubengasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 10 kg CH_2O/TJ Grubengas + 97 % / - 56 %. Insgesamt erwiesen sich aus 21 grubengasbetriebenen Anlagen (Tabelle 94) die Daten von 17 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 62 % der Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich fünf Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 76 % der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 103: Emissionsfaktoren CH_2O – Grubengas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Grubengas	Schadstoff: CH_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	17	5	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	52	12	
Median der EF [kg/TJ]	10	7	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	140	9	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	297	153	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	18.049	17.605	21.323
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**8**	**10**	**2**
Summe Emissionen [kg/a]	41.497	7.293	3.424
Summe Brennstoff [TJ/a]	5.053	767	2.009
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-79%	-32%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	230%	185%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ 97% / -56% lognormal**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 97 % Abweichung nach oben und 56 % nach unten
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 10 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 10 und 14 kg/TJ. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen eins und sieben. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis wenig.

Tabelle 104: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Grubengas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Grubengas Schadstoff CH_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	10
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		18 (≈ 60 mg/m³)

[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O2)

Tabelle 104 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der Summen-EF liegt deutlich unterhalb des TA Luft-Emissionswerts. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren eingetragen.

5.10.6 Emissionsfaktor Formaldehyd – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 105 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_2O aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 17 kg CH_2O/TJ Heizöl EL / Diesel. Insgesamt erwiesen sich aus acht heizölbetriebenen Anlagen (Tabelle 71) die Daten von allen Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 88 % der Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben zwei Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 75% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 105: Emissionsfaktoren CH_2O – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: CH_2O
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	8	2	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	8	12	
Median der EF [kg/TJ]	3	12	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	11	7	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	5	3	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.597	42.700	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**5**	**17**	
Summe Emissionen [kg/a]	175	92	
Summe Brennstoff [TJ/a]	37	5	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	559%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	

Aufgrund der geringen Anlagenmenge ist die quantifizierte Berechnung der Unsicherheit des zentralen Ergebnisses nicht sinnvoll. Wir schätzen sie mit über einer Größenordnung ab. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Mit Erhöhung der zugelassenen Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor nicht. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen nicht. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis wenig.

Tabelle 106: Vergleich von Emissionsfaktoren CH_2O – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff CH_2O**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	17
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		19 (≈ 60 mg/m³)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O2)		

Tabelle 106 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der Faktor liegt sehr nahe am TA Luft-Emissionswert. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Emissionsfaktoren eingetragen.

5.10.7 Emissionsfaktor Formaldehyd – Pflanzenölester

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für CH_2O aus pflanzenölesterbefeuerten Motoren enthält nur eine Anlage. Die Emissionen sind als berechnet und nicht als gemessen angegeben, der ermittelte Vergleichswert beträgt 7 kg CH_2O/TJ Pflanzenölester.

5.11 Flüchtige organische Stoffe außer Methan (NMVOC)

Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff NMVOC hat ergeben, dass für die Brennstoffe Biogas, Grubengas, Pflanzenöl und Pflanzenölester keine NMVOC-Emissionen eingetragen sind. Für alle anderen Brennstoffe sind Daten gefunden und ausgewertet worden.

Tabelle 107: Für NMVOC auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	72	0
Deponiegas	972 / 8168	32	0
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	16	0
Klärgas	971	7	0
Biogas	974 / 9629 / 81813	0	-
Grubengas	973	0	-
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126	0	-
Methan	1	0	-
Propan	12	0	-
Butan	13	1	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**128**	**0**

5.11.1 Emissionsfaktor NMVOC - Erdgas

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NMVOC aus erdgasbefeuerten Motoren enthält insgesamt 72 Anlagen, davon alle mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den unplausiblen Daten wurde ein Vergleichswert von 4 kg/TJ berechnet. Der Emissionsfaktor im Handbuch zu den Emissionserklärungen beträgt 10 kg/TJ und liegt damit deutlich darüber. Im ZSE 2009 ist mit 0,30 kg/TJ ein wesentlich niedriger Emissionsfaktor hinterlegt.

5.11.2 Emissionsfaktor NMVOC - Deponiegas

Tabelle 108 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NMVOC aus deponiegasbefeuerten Motoren. Aus den unplausiblen Daten wurde ein Vergleichswert von 4 kg/TJ berechnet. Insgesamt erwiesen sich aus 32 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 107) die Daten von 24 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte.

Tabelle 108: Emissionsfaktoren NMVOC – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: NMVOC
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	24	0	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	5		
Median der EF [kg/TJ]	5		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	6		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	39		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.652		
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**4**		
Summe Emissionen [kg/a]	3.706		
Summe Brennstoff [TJ/a]	939		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-99%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	607%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		

Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden.

Tabelle 109: Vergleich von Emissionsfaktoren NMVOC – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff NMVOC**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(4)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	9[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,30
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		(18 (≈ 60 mg Formaldehyd/m³))

[1] umgerechnet aus 0,125 über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)
[3] Für organische Emissionen aus Motoren gelten in der TA Luft nur die Begrenzungen für Formaldehyd.

Tabelle 109 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert dieser Studie beträgt 4 kg/TJ. Der Emissionsfaktor im Handbuch zu den Emissionserklärungen beträgt 9 kg/TJ und ist fast doppelt so hoch wie der hier berechnete. Im ZSE 2009 ist mit 0,30 kg/TJ ein wesentlich niedrigerer Emissionsfaktor hinterlegt.

5.11.3 Emissionsfaktor NMVOC - Klärgas

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NMVOC (flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen außer Methan) aus klärgasbefeuerten Motoren enthält insgesamt sieben Anlagen, davon keine mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den unplausiblen Daten wurde ein Vergleichssummenemissionsfaktor von 2 kg/TJ berechnet. Der Emissionsfaktor im Handbuch zu den Emissionserklärungen ist mit 4 kg/TJ doppelt so hoch. Im ZSE 2009 ist mit 0,30 kg/TJ ein wesentlich niedriger Emissionsfaktor hinterlegt.

5.11.4 Emissionsfaktor NMVOC – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 110 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für NMVOC aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Aus den unplausiblen Daten wurde ein Vergleichswert von 77 kg/TJ berechnet. Insgesamt erwiesen sich aus 16 heizölbetriebenen Anlagen (Tabelle 107) die Daten von 14 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei keiner lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte, der Vergleichswert wurde aus dem unplausiblen Datensatz berechnet.

Tabelle 110: Emissionsfaktoren NMVOC – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: NMVOC
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	15	0	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	86		
Median der EF [kg/TJ]	91		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	47		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	11		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.678		
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**77**		
Summe Emissionen [kg/a]	12.471		
Summe Brennstoff [TJ/a]	162		
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-95%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	21%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		

Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden. Aufgrund der geringen Datenmenge konnte die Sensitivität der Konsistenzprüfung nicht sinnvoll berechnet werden.

Tabelle 111: Vergleich von Emissionsfaktoren NMVOC – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff NMVOC**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(77)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	91[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	3,5
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		(19 (≈ 60 mg Formaldehyd[3]/m³))

[1] umgerechnet aus 3,9 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)
[3] Für organische Emissionen aus Motoren gelten in der TA Luft nur die Begrenzungen für Formaldehyd.

Tabelle 111 vergleicht den Vergleichswert mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Vergleichswert dieser Studie beträgt 77 kg/TJ. Der Emissionsfaktor im Handbuch zu den Emissionserklärungen beträgt 91 kg/TJ und ist damit ca. 18 % höher als der hier berechnete. Im ZSE 2009 ist mit 3,5 kg/TJ ein deutlich niedriger Emissionsfaktor hinterlegt.

5.12 Organischer Kohlenstoff (Gesamt-C ohne Methan)

Da die direkte Auswertung der Angaben zu NMVOC-Emissionen keine belastbaren Ergebnisse gebracht hat (vgl. Kapitel 5.11), wurde zusätzlich eine Auswertung von organischen Emissionen vorgenommen, die nicht als Molekülmasse (NMVOC) sondern als organischer Kohlenstoff angegeben wurden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen „Gesamt-C“ und „Gesamt-C ohne Methan“. Nur letzteres ist für Rückschlüsse auf NMVOC hilfreich, da bei Motorenfeuerungen mit gasförmigen Brennstoffen ein bedeutender Anteil des organischen Kohlenstoffs aus Methan stammen dürfte.
Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff Gesamt-C enthält deshalb ausschließlich die Anlagen, deren Emissionsdaten explizit für „Gesamt-C **ohne Methan**“ angegeben waren. Anlagen, für die dies nicht genau festgestellt werden konnte (z.B. „org. C aus Verbrennungsmotoranlagen“), wurden nicht ausgewertet.
Wenn ein Emissionsfaktor für Gesamt-C ohne Methan berechnet werden kann, ist es möglich, daraus einen Emissionsfaktor für den Schadstoff NMVOC abzuschätzen. Denn der Schadstoff Gesamt-C setzt sich aus den C-Anteilen von Methan und der NMVOC zusammen. Ist Gesamt-C ohne Methan angegeben, muss der restliche C-Anteil aus NMVOC stammen.

Mit der Auswertung von Gasmotoren für den Brennstoff Erdgas aus dem NERI Technical Report No. 672, 2008 (S.19) wurde ein Umrechnungsfaktor zur Berechnung der Gesamtmolekülmasse von NMVOC aus den C-Anteilen (angegeben als Gesamt-C ohne Methan) hergeleitet. In der Studie lagen Schadstoffmessungen für nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe (UHC) für Gasmotoren vor. Weiterhin angegeben waren die Methan- und NMVOC-Messungen, siehe Tabelle 112:

Tabelle 112: Daten zur Berechnung der Gesamtmolekülmasse von NMVOC aus den C-Anteilen

	Stoffname	Einheit	Wert	Quelle
[1]	UHC[1] (= Gesamt-C)	kg C/TJ Erdgas	420	NERI Technical Report No. 672, 2008; Sub-report 3 (Nielsen et al.) S.19
[2]	Methan	kg CH_4/TJ Erdgas	450	
[3]	NMVOC	kg NMVOC/ TJ Erdgas	101	
[4]	Methan	kg C/TJ Erdgas	337,5	=[2]/16*12[2]
[5]	NMVOC (= Gesamt-C ohne Methan)	kg C/TJ Erdgas	82,5	=[1] – [4]
[6]	Umrechnungsfaktor NMVOC / Gesamt-C ohne Methan bei Erdgasfeuerung	kg NMVOC / kg C	1,22	=[3]/[5]

[1] UHC: Unburned Hydrocarbons
[2] 1 Mol C (12g) + 4 Mol H (4g) = 1 Mol CH_4 (16 g)

Basierend auf Tabelle 112 beträgt der Umrechnungsfaktor von Gesamt-C ohne Methan zur Gesamtmolekülmasse von NMVOC also 1,22, dies entspricht im Übrigen etwa der Molekülzusammensetzung von Propan. Streng genommen gilt dieser Faktor allerdings nur für Erdgasfeuerungen

Die Auswertung der vorhandenen Emissionserklärungen zum Schadstoff Gesamt-C hat ergeben, dass für die Brennstoffe Biogas, Heizöl EL, Pflanzenöl und Pflanzenölester keine Emissionen von organischem Kohlenstoff eingetragen sind. Für alle anderen Brennstoffe sind Daten gefunden und ausgewertet worden.

Tabelle 113: Für Gesamt-C (ohne Methan) auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	3	0
Deponiegas	972 / 8168	19	4
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	0	-
Klärgas	971	3	2
Biogas	974 / 9629 / 81813	0	-
Grubengas	973	2	0
Pflanzenöl	917	0	-
Pflanzenölester	9126	0	-
Methan	1	0	-
Propan	12	0	-
Butan	13	0	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	0	-
Gesamt		**27**	**6**

5.12.1 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) - Erdgas

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamt-C ohne Methan aus erdgasbefeuerten Motoren enthält insgesamt drei Anlagen, davon alle mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den unplausiblen Daten wurden folgende Vergleichswerte berechnet: 19 kg/TJ, 12 kg/TJ und 54 kg/TJ. Der Summenvergleichswert daraus ist 18 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen, noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte enthalten.

5.12.2 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) – Deponiegas

Tabelle 114 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamt-C ohne Methan aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete zentrale Emissionsfaktor ist 8 kg CO/TJ Deponiegas + 156 % / - 72 %. Insgesamt erwiesen sich aus 19 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 113) die Daten von 16 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 90 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur vier Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 75% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 114: Emissionsfaktoren Gesamt-C ohne Methan – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: Gesamt-C ohne Methan
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	16	4	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	62	13	
Median der EF [kg/TJ]	11	6	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	192	17	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	18	11	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	14.584	12.934	13.310
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**21**	**8**	**25**
Summe Emissionen [kg/a]	6.045	359	73
Summe Brennstoff [TJ/a]	286	42	3
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-95%	-72%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	40%	347%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ 156% / -72% lognormal**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 156 % Abweichung nach oben und 72 % nach unten. Die Unsicherheit ist sehr hoch. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 8 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist groß. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 7 und 19 kg/TJ, trotz der extrem hohen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 1 und 7. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50 % erhöht, steigt die Anlagenzahl nur noch bis auf 9 an, der ermittelte Emissionsfaktor allerdings deutlich auf 34 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 115: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamt-C ohne Methan – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff Gesamt-C ohne Methan**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	8
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		(8 (≈ 60 mg Formaldehyd/m³))

[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2) und einen C-Anteil in Formaldehyd von 12/30=40 %
[2] Für organische Emissionen aus Motoren gelten in der TA Luft nur die Begrenzungen für Formaldehyd

Tabelle 115 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte zentrale Emissionsfaktor dieser Studie ist 8 kg/TJ und schwankt je nach zugelassenem Rauchgasvolumen stark. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte eingetragen. Die TA Luft enthält keine direkte Begrenzung von organischen C-Emissionen aus Motoren, sondern nur einen Emissionsgrenzwert für Formaldehyd. Dieser ist (umgerechnet von Molekülmasse auf Masse Kohlenstoff) etwa so hoch wie der gefundene Emissionsfaktor.

5.12.3 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) – Klärgas

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamt-C ohne Methan aus klärgasbefeuerten Motoren enthält insgesamt drei Anlagen, davon alle mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den unplausiblen Daten wurden folgende Vergleichswerte pro Anlage berechnet: 42 kg/TJ, 25 kg/TJ und 12 kg/TJ. Der Summenvergleichswert daraus ist 41 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte enthalten.

5.12.4 Emissionsfaktor Gesamt-C (ohne Methan) – Grubengas

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamt-C ohne Methan aus grubengasbefeuerten Motoren enthält insgesamt zwei Anlagen, beide mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnten die Daten von keiner der beiden Anlagen genutzt werden, um einen zentralen Summenemissionsfaktor zu berechnen. Die einzelnen Emissionsfaktoren der zwei unplausiblen Anlagen betragen 12 kg/TJ und 8 kg/TJ, bei einer Leistung von 7 und 10 MW, daraus ergibt sich ein Vergleichssummenemissionsfaktor von 9 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind Vergleichswerte enthalten.

5.13 Staub (Gesamtstaub)

Tabelle 116 gibt einen Überblick über die Anzahl von Anlagen, die für eine Auswertung zu Emissionen an Gesamtstaub zur Verfügung stehen.

Tabelle 116: Für Staub auswertbare Motoranlagen verschiedener Brennstoffe

Stoff_Bez	Stoff_nr	Auswertbare Motoranlagen	Ausgewertete gemessene konsistente Motoranlagen
Erdgas	929	347	0
Deponiegas	972 / 8168	134	9
Heizöl EL / Dieselkraftstoff	922 / 9221 / 9222	90	9
Klärgas	971	40	1
Biogas	974 / 9629 / 81813	21	1
Grubengas	973	2	1
Pflanzenöl	917	2	1
Pflanzenölester	9126	1	0
Methan	1	3	-
Propan	12	1	-
Butan	13	2	-
Ottokraftstoff, Super bleifrei	9621	0	-
Sonstiges	9999	2	-
Gesamt		**645**	**22**

5.13.1 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Erdgas

Tabelle 117 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus erdgasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 347 erdgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 118) die Daten von 332 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei fünf Prozent dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte keine konsistente Anlage gefunden werden, um einen zentralen Summenemissionsfaktor zu berechnen.

Tabelle 117: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Erdgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Erdgas	Schadstoff: Gesamtstaub
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	332	0	27
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	0,19		0,15
Median der EF [kg/TJ]	0,10		0,10
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	0,61		0,18
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	111		87
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	45.484		43.969
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**0,21**		**0,12**
Summe Emissionen [kg/a]	7.804		272
Summe Brennstoff [TJ/a]	36.869		2.357
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%		-41%
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	845%		157%
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.		n.a.

Es konnte kein zentrales Ergebnis ermittelt werden.
Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse ergibt sich erst ab 30 % zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) eine konsistente Menge gemessener Datensätze. Der daraus berechnete Summenemissionsfaktor liegt zwischen 1,02 und 2,30 kg/TJ. Die Zahl der Anlagen schwankt zwischen eins und fünf. Im Rahmen der festgesetzten Grenzen von Rauchgasvolumina und Schwankungen der Emissionsfrachten können nur ein Vergleichswert von 0,21 kg/TJ aus einer unplausiblen Datenmenge und ein Vergleichswert von 0,12 kg/TJ aus 27 konsistenten Anlagen mit berechneten Datensätzen ermittelt werden. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die berechneten Vergleichswerte deutlich vom zugelassenen Rauchgasvolumen abhängig sind. Zudem liegt eine große Spannbreite zwischen den einzelnen Werten, sie sind nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 118: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Erdgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Erdgas Schadstoff Gesamtstaub**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	(0,12 – 2,30)
Handbuch Emissionserklärungen	2004	0,10[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,30
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		6,1 (≈20mg/m^3 nach TA-Luft 5.2.1)

[1] umgerechnet aus 0,017 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 46.000 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 118 vergleicht die Vergleichswerte mit anderen Literaturquellen. Die untere Grenze des Bereichs der ermittelten Vergleichswerte dieser Studie (0,21-2,30 kg/TJ) liegt in der Nähe des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Der Emissionsfaktor im ZSE 2009 von 0,30 kg/TJ passt von der Größenordnung ebenfalls gut zur unteren Grenze der Ergebnisse dieser Studie.

5.13.2 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Deponiegas

Tabelle 119 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus deponiegasbefeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist
0,44 kg Gesamtstaub/TJ Deponiegas +/- 68 %. Insgesamt erwiesen sich aus 134 deponiegasbetriebenen Anlagen (Tabelle 116) die Daten von 105 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei 36 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben nur neun Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 93% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 119: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Deponiegas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Deponiegas	Schadstoff: Gesamtstaub
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	105	9	0
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	1,26	0,46	
Median der EF [kg/TJ]	1,37	0,35	
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1,18	0,29	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	178	88	
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	13.596	15.185	
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**0,19**	**0,44**	
Summe Emissionen [kg/a]	3.474	347	
Summe Brennstoff [TJ/a]	18.651	788	
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%	-47%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	832%	126%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 68 %**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 68 % Abweichung. Die Unsicherheit nach oben ist extrem und zeigt bereits, dass große Unterschiede selbst im plausiblen Datensatz bestehen.
Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 0,44 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 0,33 und 0,44 kg/TJ, trotz der extrem hohen Unsicherheit. Entsprechend schwankt auch die Zahl der Anlagen zwischen 2 und 9. Werden die Toleranzgrenzen für das zugelassene Rauchgasvolumen auf über 50% erhöht, steigt die Anlagenzahl bis auf 30 an, der ermittelte Emissionsfaktor ist dann mit 0,68 kg/TJ merklich größer. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis kaum.

Tabelle 120: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Deponiegas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Deponiegas Schadstoff Gesamtstaub**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	0,44
Handbuch Emissionserklärungen	2004	1,74[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,30
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		6,1 (≈20mg/m^3 nach TA-Luft 5.2.1)

[1] umgerechnet aus 0,0231 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.310 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 120 vergleicht den gefundenen, nicht repräsentativen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte zentrale Emissionsfaktor dieser Studie von 0,44 kg/TJ liegt mit Faktor 4 deutlich unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Der Emissionsfaktor im ZSE 2009 von 0,30 kg/TJ passt von der Größenordnung besser zu den Ergebnissen dieser Studie.

5.13.3 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Klärgas

Tabelle 121 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus klärgasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 40 klärgasbetriebenen Anlagen (Tabelle 116) die Daten von 38 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Nur bei einer dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte aus diesem Datensatz ein zentraler Summenemissionsfaktor von 0,19 kg / TJ Klärgas bei hoher Unsicherheit berechnet werden.

Tabelle 121: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Klärgas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Klärgas	Schadstoff: Gesamtstaub
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	38	1	2
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	0,52		
Median der EF [kg/TJ]	0,37		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	0,42		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	38		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	19.349	23.400	23.133
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**0,44**	**0,19**	**0,23**
Summe Emissionen [kg/a]	640	4	20
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.442	19	86
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-87%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	282%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Anlagenmenge ist die quantifizierte Berechnung der Unsicherheit des zentralen Ergebnisses nicht sinnvoll. Wir schätzen sie mit über einer Größenordnung ab.
Der zentrale Emissionsfaktor beträgt 0,19 kg/TJ, zum Vergleich wurden auch die Emissionsdaten des unplausiblen Datensatzes ausgewertet, der hierbei ermittelte Emissionsfaktor beträgt 0,44 kg/TJ. Zusätzlich wurde eine konsistente Anlage mit berechneten Emissionsdaten gefunden und ausgewertet, ihr Emissionsfaktor ist 0,23 kg/TJ. Die Emissionsfaktoren passen von der Größenordnung zusammen, sie sind aufgrund der Datenmenge und Plausibilität jedoch nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 122: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Klärgas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Klärgas Schadstoff Gesamtstaub**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	0,19
Handbuch Emissionserklärungen	2004	0,37
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		6,1 (≈20mg/m^3 nach TA-Luft 5.2.1)

[1] umgerechnet aus 0,005 über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 13.559 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 122 vergleicht den gefundenen, nicht repräsentativen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor von 0,19 kg/TJ dieser Studie liegt unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Im ZSE 2009 gibt es keinen vergleichbaren Wert. In ihrer Größenordnung unterscheiden sich alle Werte nicht stark voneinander.

5.13.4 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Biogas

Tabelle 123 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus biogasbefeuerten Motoren. Insgesamt erwiesen sich aus 21 biogasbetriebenen Anlagen (Tabelle 45) die Daten von 19 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Nur bei zwei dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen konnte aus dem Datensatz einer dieser Anlagen der zentrale Summenemissionsfaktor von 0,93 kg Gesamtstaub/TJ Biogas berechnet werden.

Tabelle 123: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Biogas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Biogas	Schadstoff: Gesamtstaub
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	19	1	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	0,72		
Median der EF [kg/TJ]	0,22		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	1,36		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	51		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	21.182	17.900	23.250
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**0,67**	**0,93**	**0,22**
Summe Emissionen [kg/a]	643	147	8
Summe Brennstoff [TJ/a]	967	159	38
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-76%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	123%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Anlagenmenge ist die quantifizierte Berechnung der Unsicherheit des zentralen Ergebnisses nicht sinnvoll. Wir schätzen sie mit über einer Größenordnung ab.
Der berechnete zentrale Emissionsfaktor von 0,93 kg/TJ wurde aus einer Anlage berechnet. Der Emissionsfaktoren ist aufgrund der geringen Datenmenge nicht repräsentativ und belastbar.

Tabelle 124: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Biogas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Biogas Schadstoff Gesamtstaub**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	0,93
Handbuch Emissionserklärungen	2004	0,22[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Eltra PSO Report	2003	0,451[2]
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[3] in [kg/TJ]		6,1 (≈20mg/m^3 nach TA-Luft 5.2.1)

[1] umgerechnet aus 0,005 über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 23.250 kJ/kg
[2] nur PM_{10}
[3] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 124 vergleicht den gefundenen zentralen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor von 0,93 kg/TJ dieser Studie ist viermal höher als der Emissionsfaktor aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Im ZSE 2009 ist kein Emissionsfaktor hinterlegt. Das heißt, die in den Emissionserklärungen angegebenen Emissionen sind wahrscheinlich mit dem Faktor aus dem Handbuch berechnet worden.

5.13.5 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Grubengas

Tabelle 125 zeigt die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus grubengasbefeuerten Motoren und enthält insgesamt zwei gemessene Anlagen. Die angegebenen Heizwerte für Grubengas variieren stark. Eine der Anlagen hat keine Emissionsdaten angegeben. Das zentrale Ergebnis der gemessenen Anlage beträgt 0,35 kg Gesamtstaub / TJ Grubengas, der Vergleichswert der berechneten Anlage ist mit 0,62 kg Gesamtstaub / TJ Grubengas fast doppelt so hoch. Weder im ZSE 2009 noch im Handbuch zu den Emissionserklärungen sind Vergleichswerte vorhanden. Die Anlagen unterscheiden sich deutlich nach ihrer Leistung. Der Emissionsfaktor von 0,35 kg/TJ ist einer Anlage mit einer Leistung von 2,55 MW und der Emissionsfaktor von 0,62 kg/TJ ist einer Anlagenleistung von 95 MW zugeordnet.

Tabelle 125: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Grubengas

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Grubengas	Schadstoff: Gesamtstaub
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	3	1	1
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	0,32		
Median der EF [kg/TJ]	0,35		
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	0,31		
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	698		
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	21.112	21.323	17.095
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**0,60**	**0,35**	**0,62**
Summe Emissionen [kg/a]	1.254	9	1.245
Summe Brennstoff [TJ/a]	2.093	25	2.009
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-100%		
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	3%		
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**> 1 Größenordnung**	n.a.

Aufgrund der geringen Datenmenge konnte weder Unsicherheit des Emissionsfaktors noch Sensitivität der Konsistenzprüfung sinnvoll berechnet werden. Wir schätzen die Unsicherheit des Summenemissionsfaktor mit über einer Größenordnung ab.

Tabelle 126: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Grubengas verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Grubengas Schadstoff Gesamtstaub)**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	0,35
Handbuch Emissionserklärungen	2004	-
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	-
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[1] in [kg/TJ]		6,1 (≈20mg/m^3 nach TA-Luft 5.2.1)
[1] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 306 m³/GJ (5% O_2)		

Tabelle 126 vergleicht das Ergebnis dieser Studie mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie beträgt 0,35 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 sind vergleichbare Emissionsfaktoren enthalten.

5.13.6 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Heizöl EL / Diesel

Tabelle 127 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren. Der berechnete Emissionsfaktor ist 11 kg Gesamtstaub/TJ Heizöl EL/Diesel +/– 28 %. Insgesamt erwiesen sich aus 90 heizöl- und dieselbetriebenen Anlagen (Tabelle 19) die Daten von 89 Anlagen als sinnvoll auswertbar. Bei ca. 33 % dieser Anlagen lagen gemessene Emissionsdaten vor. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieben lediglich neun Anlagen, aus deren Datensätzen der zentrale Summenemissionsfaktor berechnet wurde. Ca. 90% der prinzipiell auswertbaren Anlagen mussten im Laufe der Plausibilisierungen aussortiert werden, um einen belastbaren Datensatz zu generieren.

Tabelle 127: Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Heizöl EL/Diesel

Auswertung Emissionserklärungen 2004: Emissionsfaktoren für genehmigungsbedürftige stationäre Verbrennungsmotoranlagen		Brennstoff: Heizöl EL / Diesel	Schadstoff: Gesamtstaub
	Zum Vergleich: Datensatz ohne weitergehende Plausibilisierungen	**Zentrales Ergebnis:** gemessene konsistente Motoranlagen	**Zum Vergleich:** berechnete konsistente Motoranlagen
Anzahl Motoranlagen	89	9	2
Auswertung pro Anlage			
arithmetisches Mittel der Emissionsfaktoren [kg/TJ]	28	10	1
Median der EF [kg/TJ]	13	10	1
Standardabweichung der EF [kg/TJ]	76	6	
durchschn. Brennstoffmenge pro Anlage [TJ/a]	14	7	0
durchschnittlicher Heizwert [kJ/kg]	42.899	42.697	42.700
Auswertung Anlagensumme			
Summen-Emissionsfaktor [kg/TJ]	**16**	**11**	**1**
Summe Emissionen [kg/a]	19.445	713	1
Summe Brennstoff [TJ/a]	1.223	63	0
Streuung der EF: 2,5% Quantil [%]	-99%	-43%	
Streuung der EF: 97,5% Quantil [%]	129%	120%	
Unsicherheit des Summen-EF (95%-Konfidenzintervall) [%]	n.a.	**+ / - 28 %**	n.a.

Die Unsicherheit des zentralen Ergebnisses liegt bei 28 % Abweichung. Die Sensitivität des berechneten Emissionsfaktors von 11 kg/TJ auf die Abschneidekriterien der Konsistenzprüfungen (vgl. Kapitel 4.3.10) ist gering. Je nach zugelassener Schwankungsbreite der als plausibel eingestuften spezifischen Rauchgasvolumina (vgl. Konsistenztest Brennstoffmenge Kapitel 4.3.6) schwankt der Summenemissionsfaktor zwischen 10 und 11 kg/TJ. Die Zahl der Anlagen schwankt stärker zwischen 3 und 13. Erst wenn die Toleranzgrenzen im Konsistenztest der Brennstoffmenge und der Emissionsfrachten auf über 100 % erhöht, also ausgesetzt werden, steigt die Anlagenzahl auf 26 an, der ermittelte Emissionsfaktor beträgt dann 18 kg/TJ. Schwankungsbreiten beim Test der Emissionsfrachten (Kapitel 4.3.5) beeinflussen das Ergebnis wenig.

Tabelle 128: Vergleich von Emissionsfaktoren Gesamtstaub – Heizöl EL/Diesel verschiedener Quellen

Vergleich von Emissionsfaktoren verschiedener Quellen		**Brennstoff: Heizöl EL / Diesel Schadstoff gesamtstaub**
Datenquelle	**Bezugsjahr**	**Emissionsfaktor [kg/TJ]**
Emissionserklärungen 2004 (diese Studie)	2004	11
Handbuch Emissionserklärungen	2004	25[1]
Zentrales System Emissionen UBA 01/2009	2004	0,78 – 0,88 (Dieselkraftstoff in Dieselmotoren) 0,88 – 170 (Heizöl EL in Gasmaschinen)
Emissionswerte TA-Luft 2002 umgerechnet[2] in [kg/TJ]		6,3 (≈ 20 mg/m nach TA-Luft 5.2.1)

[1] umgerechnet aus 1,068 kg/t über den im Handbuch Emissionserklärungen vorgeschlagenen Heizwert von 42.700 kJ/kg
[2] umgerechnet über ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m³/GJ (5% O_2)

Tabelle 128 vergleicht den gefundenen Emissionsfaktor mit anderen Literaturquellen. Der ermittelte Emissionsfaktor dieser Studie liegt mit Faktor Zwei deutlich unterhalb des Emissionsfaktors aus dem Handbuch zu den Emissionserklärungen aus dem Jahr 2004. Der Emissionsfaktor im ZSE für Dieselkraftstoff in Dieselmotoren hat eine andere Größenordnung, der hier berechnete Emissionsfaktor ist mehr als 11-mal höher. Im Vergleich zum Emissionsgrenzwert der TA Luft ist der berechnete Emissionsfaktor ca. doppelt so hoch.

5.13.7 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Pflanzenöl

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus pflanzenölbefeuerten Motoren enthält insgesamt zwei Anlagen, davon eine mit gemessenen Emissionsdaten. Die andere Anlage hat geschätzte Emissionsdaten angegeben. Der Emissionsfaktor der gemessenen Anlage beträgt 4,39 kg Gesamtstaub / TJ Brennstoff, der Emissionsfaktor der geschätzten Anlage ist mit 6,94 kg Gesamtstaub / TJ Pflanzenöl höher. Weder im ZSE 2009 noch im Handbuch zu den Emissionserklärungen sind Vergleichswerte vorhanden.

5.13.8 Emissionsfaktor Gesamtstaub – Pflanzenölester

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Gesamtstaub aus pflanzenölesterbefeuerten Motoren enthält eine Anlage ohne Angabe zur Ermittlungsart der Emissionsdaten. Der Emissionsfaktor dieser einzigen Anlage beträgt 8,57 kg Gesamtstaub / TJ Brennstoff. Weder im ZSE 2009 noch im Handbuch zu den Emissionserklärungen sind Vergleichswerte vorhanden.

5.14 Ruß

In den Emissionserklärungen 2004 wurden lediglich für einige mit Heizöl EL bzw. Dieselkraftstoff befeuerte Motorenanlagen Rußemissionen angegeben. Für die anderen Brennstoffe konnten somit keine Emissionsfaktoren ermittelt werden.

5.14.1 Emissionsfaktor Ruß – Heizöl EL / Diesel

Die Auswertung der Emissionserklärungen 2004 für Ruß aus mit Heizöl EL / Diesel befeuerten Motoren enthält insgesamt vier Anlagen, davon drei mit gemessenen Emissionsdaten. Nach den in Kapitel 4.3.5 und 4.3.6 beschriebenen Plausibilitätsprüfungen verblieb keine Anlage, aus deren Datensätzen ein zentraler Summenemissionsfaktor berechnet werden konnte. Aus den unplausiblen Daten wurde ein Vergleichswert von 35 kg/TJ berechnet. Die Emissionsfaktoren der einzelnen Anlagen unterscheiden sich stark, sie betragen 8, 25, 41 und 57 kg/TJ. Weder im Handbuch zu den Emissionserklärungen noch im ZSE 2009 ist ein vergleichbarer Emissionsfaktor eingetragen.

6 Quellen

TA Luft (2002): „Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes–Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

4. BImSchV (2004): „Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) In der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997, BGBl. I S. 504, zuletzt geändert am 23. Dezember 2004, BGBl. I S. 3758.

Datenbank-Emissionserklärungen (2009): Sammlung von Emissionserklärungsdaten 2004 der Bundesländer, zur Verfügung gestellt über das UBA; in eine Datenbank zusammengefasst durch Tatjana Geftler, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Stand 23.01.09.

Anleitung Emissionserklärungen (2006): „Anleitung zur Erstellung von Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV“. LUA – Landesumweltamt Nordrhein Westfalen. Stand 15.01.2006.

IPCC Guidelines (2006): “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K., et al. (Hg.). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan.

EEA Technical report No 4 (2008): “Air pollution from electricity-generating large combustion plants”. European Environment Agency.

NERI Technical Report No. 672, 2008; Sub-report 3 (2008): “Revised emission factors for gas engines including start/stop emissions”. Nielsen et al.; National Environmental Research Institute Research Institute University of Aarhus. Denmark 2008.

Eltra PSO Report 3141 (2003): Faglig rapport fra DMU, nr. 442 “Emissionsfaktorer og emissionsopgørelse for decentral kraftvarme, Kortlægning af emissioner fra decentrale kraftvarmeværker Delrapport 6“. Nielsen, M.; Illerup J.B. Danmarks Miljøundersøgelser Miljøministeriet. Mai 2003.