

Texte

01
08

ISSN
1862-4804

Nationaler Durchführungsplan unter dem Stockholmer Abkommen zu persistenten organischen Schadstoffen (POPs)

Umwelt
Bundes
Amt 

Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDEMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 205 67 444
UBA-FB 001094



Nationaler Durchführungsplan unter dem Stockholmer Abkommen zu persistenten organischen Schadstoffen (POPs)

von

Otto Rentz
Ute Karl
Martina Haase
Matthias Koch

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung,
Universität Karlsruhe (TH)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.umweltbundesamt.de> verfügbar.

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

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

Redaktion: Fachgebiet IV 1.1
Dr. Steffi Richter

Dessau-Roßlau, Januar 2008

| | | |
|--|--|----------------------------|
| 1. Berichtsnummer | 2. | 3. |
| 4. Titel des Berichts NATIONALER DURCHFÜHRUNGSPLAN UNTER DEM STOCKHOLMER ABKOMMEN ZU PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN (POPs) | | |
| 5. Autor, Name, Vorname Rentz, Otto; Karl, Ute; Haase, Martina; Koch, Matthias | 8. Abschlussdatum 01.12.2007 | 9. Veröffentlichungsdatum |
| | 6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Universität Karlsruhe Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) Hertzstraße 16 76187 Karlsruhe | |
| 7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau | 11. Seitenzahl 126 | 12. Literaturangaben 62 |
| | 13. Tabellen und Diagramme 115 | 14. Abbildungen 23 |
| | 15. Zusätzliche Angaben | |
| | 16. Kurzfassung Der vorliegende Bericht umfasst die Erstellung eines nationalen Emissionsinventars für das Bezugsjahr 2004 für unbeabsichtigt gebildete Persistente Organische Schadstoffe (uPOPs) als Beitrag zur Erfüllung der Berichtspflichten, die sich aus dem Stockholmer Abkommen und dem UNECE POPs-Protokoll ergeben. Das Inventar bezieht sich auf die Luftpfad-Emissionen unbeabsichtigt gebildeter PCDD/PCDF, PAH, B(a)P, PCB und HCB und erlaubt die Identifizierung der Hauptquellgruppen sowie der wesentlichen Schwachstellen und Datenlücken der uPOPs-Emissionsdatenerfassung. Die Berichtswerte des Inventars basieren auf Berechnungen mittels Monte-Carlo-Simulation (MC-Simulation) auf Basis von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten. In einer umfangreichen Literaturstudie wurden Emissionsfaktoren für o.g. Schadstoffe ermittelt sowie aus den Emissionserklärungen des Jahres 2004 (EE 2004) abgeleitet. Aus diesem Datenbestand wurden für Deutschland spezifische Faktoren gebildet. Die in den EE 2004 berichteten Emissionen dienten des Weiteren als Anhaltspunkte für die Schadstofffrachten verschiedener Quellgruppen des industriellen Sektors. Die Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten sowie die berechneten Emissionen werden für die einzelnen POPs-Quellkategorien differenziert nach verschiedenen Unterkategorien angegeben. Aus dem vorliegenden Inventar kann eine zukünftige Maßnahmenplanung zur Verbesserung der POPs-Emissionsdatenerfassung abgeleitet und damit die Datenqualität zukünftiger Inventare verbessert werden. Weiterhin werden bestehende und geplante Maßnahmen zur Emissionsminderung für die Hauptemittenten vorgestellt und Vorschläge für eine weitergehende Maßnahmenplanung gemacht. Die Hauptemittenten für PCDD/PCDF stellen die Sektoren metallurgische Industrie, offene Verbrennung und häusliche Verbrennungsquellen dar. Die Emissionen von B(a)P und PAH stammen vorwiegend aus den häuslichen Verbrennungsquellen. Die Datenlücken und Schwachstellen des Inventars bestehen hauptsächlich im Hinblick auf die HCB- und PCB-Emissionen. Für diese Schadstoffe konnten nur wenige EF aus der Literatur abgeleitet werden und die EE 2004 enthalten nur vereinzelte Angaben. Einen weiteren Schwachpunkt des Inventars stellt die Emissionserfassung des Sektors offene Verbrennung dar. Sowohl die Darstellung der EF als auch der Aktivitätsraten sind in diesem Sektor mit hohen Unsicherheiten behaftet. Aufbauend auf dem erstellten Emissionsinventar als Referenzszenario wurden für alle Sektoren Emissionsprognosen für die Jahre 2010, 2015 und 2020 erstellt. Zusätzlich wird auf die vermutete Entwicklung der energetischen Holznutzung im Bereich der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher sowie die Umsetzung der TA Luft 2002 in Bezug auf die Sinteranlagen eingegangen. Zu diesem Zweck wurden ein Wachstums-Szenario (Szenario 1) und ein Maßnahmen-Szenario (Szenario 2) für die Holzfeuerung in Kleinf Feuerungsanlagen sowie ein Maßnahmen-Szenario für die Sinteranlagen der metallurgischen Industrie (Szenario 3) berechnet. | |
| 17. Schlagwörter POPs, uPOPs, Persistente Organische Schadstoffe, Stockholmer Abkommen, UNECE POPs-Protokoll, Emissionen, Emissionsfaktoren, Emissionsinventar, PCDD/PCDF, B(a)P, PAH, HCB, PCB, Emissionserklärungen | | |
| 18. Preis | 19. | 20. |

| | | |
|---|-----|--|
| 1. Report No. | 2. | 3. |
| 4. Report Title NATIONALER DURCHFÜHRUNGSPLAN UNTER DEM STOCKHOLMER ABKOMMEN ZU PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN (POPs) | | |
| 5. Autor (s), Family Name (s), First Name (s) Rentz, Otto; Karl, Ute; Haase, Martina; Koch, Matthias | | 8. Report Date 01.12.2007 |
| 6. Performing Organisation (Name, Address) University of Karlsruhe Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) Hertzstraße 16 76187 Karlsruhe | | 9. Publication Date |
| | | 10. UFOPLAN-Ref. No. FKZ 205 67 444 |
| | | 11. No. of Pages 126 |
| | | 12. No. of References 62 |
| 7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau | | 13. No. of Tables, Diagrams 115 |
| | | 14. No. of Figures 23 |
| 15. Supplementary Notes | | |
| 16. Abstract The present report comprises the German emission inventory 2004 for unintentionally formed Persistent Organic Pollutants (uPOPs) to fulfil the reporting obligations of the Stockholm Convention and the UNECE POPs-Protocol. The inventory refers to emissions into the air of unintentionally formed PCDD/PCDF, PAH, B(a)P, PCB and HCB and enables the identification of the main source categories and the substantial deficiencies and data gaps for uPOPs reporting. The values of the inventory were computed using a Monte Carlo Simulation (MC-Simulation) based on emission factors and the corresponding activity rates. Emission factors (EF) of the above-mentioned pollutants were acquired during an extensive study of relevant literature and derived from the industries' Emission Declarations 2004. From this data specific emissions factors were derived for Germany. The data of the Emission Declarations 2004 were used to indicate annual pollutant loads for different industrial source categories. In this report the emissions factors, activity rates and emissions of each source category are stated separately for various sub-categories. The present inventory allows to identify measures for enhancing uPOPs reporting and therefore the quality of future inventories. Moreover, an overview of existing and planned measures for emission reductions of the main source categories are given and further measures are proposed. The main source categories for PCDD/PCDF are the ferrous metal industry, open burning and residential combustion. B(a)P and PAH emissions are mainly released from residential combustion. The main data gaps and deficiencies of the inventory are related to the PCB- and HCB-emissions. For these pollutants emission factors could hardly be derived from literature and the information on these pollutants in the Emission Declarations 2004 is scarce, too. Another deficiency of the inventory is the ascertainment of the emissions of open burning as uncertainty of emissions factors and activities in this sector is high. With the present inventory as a reference scenario, emission projections were calculated for all source sectors for the years 2010, 2015 and 2020. Besides the assumed changes of the energetic use of wood in residential combustion and the implementation of the Technical Instructions on Air Quality (TA Luft) 2002 concerning sintering plants are simulated. Therefore an "increase scenario" (scenario 1) and a "measure scenario" (scenario 2) for the use of wood in small scale combustion installations and a "measure scenario" (scenario 3) for sintering plants of the ferrous metal industry were calculated. | | |
| 17. Keywords POPs, uPOPs, Persistent Organic Pollutants, Stockholm Convention, UNECE-Pops-Protocol, emissions, emission factors, emission inventory, PCDD/PCDF, B(a)P, PAH, HCB, PCB, emission declarations | | |
| 18. Price | 19. | 20. |

I Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| I Inhaltsverzeichnis | iv |
| II Tabellenverzeichnis | vi |
| III Abbildungsverzeichnis | x |
| 0. Zusammenfassung | 1 |
| 0. Summary | 5 |
| 1. Aufgabenstellung und Lösungsweg | 9 |
| 2. Methodik zur Erstellung des nationalen Emissionsinventars | 10 |
| 2.1. Definition der Schadstoffsummenparameter sowie der Brennstoffeigenschaften | 10 |
| 2.2. Emissionsberechnung mittels Monte Carlo Simulation | 11 |
| 3. Nationales Emissionsinventar | 12 |
| 3.1. Thermische Abfallbehandlung | 13 |
| 3.2. Zementherstellung | 15 |
| 3.3. Zellstoff- und Papierindustrie | 16 |
| 3.4. Thermische Prozesse in der metallurgischen Industrie | 17 |
| 3.4.1. Top-Down Emissionsberechnung | 17 |
| 3.4.2. Bottom-Up-Ansatz zur PCDD/PCDF-Emissionsberechnung von Sinteranlagen | 20 |
| 3.4.3. Bottom-Up-Ansatz zur PCDD/PCDF-Emissionsberechnung von Elektrostahlwerken | 20 |
| 3.5. Feuerungsanlagen | 21 |
| 3.5.1 Top-Down Emissionsberechnung | 21 |
| 3.5.2 Nachberechnung von Emissionen der GFA aus den Datensätzen der Emissionserklärungen | 30 |
| 3.6. Chemische Industrie | 31 |
| 3.7. Tierkörperbeseitigungsanlagen | 31 |
| 3.8. Färben und Endbehandeln von Textilien und Leder | 32 |
| 3.9. Koks- und Anodenproduktion | 32 |
| 3.10. Holzschutzmittelbehandlungsanlagen | 33 |
| 3.11. Transport und Verkehr | 34 |
| 3.12. Krematorien | 39 |
| 3.13. Kleinfeuerungsanlagen der Haushalte und des übrigen Kleinverbrauchs | 40 |
| 3.14. Offene Verbrennung | 49 |
| 3.15. Zusammenfassende Darstellung des nationalen Emissionsinventars | 52 |
| 4. Emissionsprognosen | 56 |
| 4.1. Emissionsprognosen für PCDD/PCDF | 57 |
| 4.2. Emissionsprognosen für B(a)P und PAH | 65 |
| 4.3. Wachstums-Szenario Holzfeuerung in KFA (Szenario 1) | 70 |
| 4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Prognosen | 73 |

| | |
|---|-----|
| 5. Maßnahmen zur Umsetzung der Verpflichtungen aus dem Stockholmer Abkommen und dem UNECE POPs-Protokoll..... | 74 |
| 5.1. Maßnahmen zur Minimierung der Freisetzung von uPOPS..... | 74 |
| 5.1.1 Industrieller Sektor..... | 74 |
| 5.1.2 Nicht-industrieller Sektor..... | 75 |
| 5.2. Verbesserung der Emissionsdatenerfassung..... | 78 |
| 5.2.1 Industrieller Sektor..... | 78 |
| 5.2.2 Nicht-industrieller Sektor..... | 79 |
| 5.3. Maßnahmen-Szenario bei Umsetzung der BVT in Kleinf Feuerungsanlagen zur Holzfeuerung (Szenario 2)..... | 79 |
| 5.4. Maßnahmen-Szenario bei Umsetzung der BVT in Sinteranlagen (Szenario 3)..... | 83 |
| 5.5. Zusammenfassung der Wirkungen bestehender und geplanter Maßnahmen (PCDD/PCDF, B(a)P, PAH)..... | 84 |
| Anhang..... | 86 |
| A 1 Auswertung der von den Bundesländern übermittelten Datensätze mit Hilfe einer Access- Datenbank..... | 86 |
| A 2 Definition von Schadstoffgruppen..... | 88 |
| A 3 Kenngrößen der Emissionsfaktorenbestimmung..... | 90 |
| A 4 Emissionsprognosen..... | 98 |
| A 5 Emissionsszenarien Holzfeuerung..... | 120 |
| A 6 Maßnahmen-Szenario Sinter (Szenario 3)..... | 124 |
| Literaturverzeichnis..... | 126 |

II Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Nationales Emissionsinventar für PCDD/PCDF (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen | 2 |
| Tabelle 2: Nationales Emissionsinventar für B(a)P (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen | 2 |
| Tabelle 3: Nationales Emissionsinventar für PAH (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen | 3 |
| Tabelle 4: Brennstoffeigenschaften [53, S. 6; 28, S. IV.28; 57, S. 39, 3, S. 14]..... | 11 |
| Tabelle 5: Bereich der verwendeten Aktivitätsraten für die thermische Abfallbehandlung..... | 14 |
| Tabelle 6: Wertebereich der Emissionsfaktoren für die thermische Abfallbehandlung. | 14 |
| Tabelle 7: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der thermischen Abfallbehandlung..... | 15 |
| Tabelle 8: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktoren für die Zementindustrie.. | 15 |
| Tabelle 9: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der Zementindustrie. | 16 |
| Tabelle 10: Wertebereich von Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Zellstoff- und Papierindustrie..... | 16 |
| Tabelle 11: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der Zellstoff- und Papierindustrie. | 16 |
| Tabelle 12: Wertebereich der Aktivitätsraten der Metallindustrie. | 17 |
| Tabelle 13: Wertebereich der Emissionsfaktoren für die Metallindustrie. | 18 |
| Tabelle 14: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der Metallindustrie..... | 19 |
| Tabelle 15: Berichtete und nachberechnete Emissionen der Elektrostahlproduktion. | 21 |
| Tabelle 16: Wertebereich der Aktivitätsraten der Feuerungsanlagen. | 22 |
| Tabelle 17: Bereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen..... | 24 |
| Tabelle 18: Bereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für TA-Luft Anlagen. | 24 |
| Tabelle 19: Bereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Gasturbinen und Verbrennungsmotoren..... | 24 |
| Tabelle 20: Bereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen. | 25 |
| Tabelle 21: Bereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für TA-Luft Anlagen. | 25 |
| Tabelle 22: Bereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für Gasturbinen und Verbrennungsmotoren..... | 25 |
| Tabelle 23: Bereich der PAH-Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen. | 26 |
| Tabelle 24: Bereich der PAH-Emissionsfaktoren für TA-Luft Anlagen. | 26 |
| Tabelle 25: Bereich der PAH-Emissionsfaktoren für Gasturbinen und Verbrennungsmotoren. | 26 |
| Tabelle 26: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PCDD/PCDF-Emissionen und berichtete Emissionen der Feuerungsanlagen. | 27 |
| Tabelle 27: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten B(a)P-Emissionen und berichtete Emissionen der Feuerungsanlagen. | 28 |
| Tabelle 28: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PAH-Emissionen und berichtete Emissionen der Feuerungsanlagen. | 29 |
| Tabelle 29: Aktivitätsraten (Massenströme) der verschiedenen Brennstoffe für Großfeuerungsanlagen sowie die Anteile der Massenströme, zu welchen Emissionen angegeben werden..... | 30 |
| Tabelle 30: Berichtete und nachberechnete Jahresfrachten der GFA für PCDD/PCDF, B(a)P und PAH | 31 |
| Tabelle 31: Berichtete Emissionen der chemischen Industrie..... | 31 |
| Tabelle 32: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktor für die Eigenverbrennung in Tierkörperbeseitigungsanlagen. | 32 |
| Tabelle 33: Berechnete und berichtete Emissionen von Tierkörperbeseitigungsanlagen..... | 32 |
| Tabelle 34: Berichtete Emissionen der Textil- und Lederindustrie. | 32 |
| Tabelle 35: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktoren für die Koks- und Anodenproduktion. | 33 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 36: Berichtete und berechnete Emissionen der Koks- und Anodenproduktion. | 33 |
| Tabelle 37: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktoren für Holzschutzmittelbehandlungsanlagen..... | 33 |
| Tabelle 38: Berichtete und berechnete Emissionen der Holzschutzmittelbehandlungsanlagen..... | 34 |
| Tabelle 39: Treibstoffspezifische Aktivitätsraten [t/a] des Sektors Transport und Verkehr für das Jahr 2004..... | 35 |
| Tabelle 40: Fahrleistung [1.000 km/a] im Sektor Transport und Verkehr für das Jahr 2004. . | 35 |
| Tabelle 41: Faktoren zur Bestimmung der AR des Reifen- und Bremsabriebs im Straßenverkehrs ([56]; [12], S. B770-18])..... | 36 |
| Tabelle 42: Aktivitätsrate des Brems- und Reifenabriebs des Sektors Transport und Verkehr für das Jahr 2004..... | 36 |
| Tabelle 43: Ermittelte PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren [$\mu\text{g I-TE/t}$] für den Sektor Transport und Verkehr..... | 37 |
| Tabelle 44: Ermittelte B(a)P-Emissionsfaktoren für den Sektor Transport und Verkehr..... | 37 |
| Tabelle 45: Ermittelte PAH-Emissionsfaktoren für den Sektor Transport und Verkehr..... | 37 |
| Tabelle 46: B(a)P- und PAH-Emissionsfaktoren für den Brems- und Reifenabrieb..... | 38 |
| Tabelle 47: Berechnete Emissionen für den Sektor Transport und Verkehr..... | 38 |
| Tabelle 48: Aktivitätsrate, Emissionsfaktor und berechnete PCDD/PCDF-Emission für Feuerbestattungen..... | 40 |
| Tabelle 49: Aktivitätsraten der Haushalte und der übrigen Kleinverbraucher [56]. | 40 |
| Tabelle 50: Verteilungen der Endenergieverbräuche der festen Brennstoffe auf Kesselanlagen und Kamine/Öfen [30, 50]..... | 41 |
| Tabelle 51: Brennstoffspezifische Aktivitätsraten für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 41 |
| Tabelle 52: Brennstoffspezifische Aktivitätsraten für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen..... | 42 |
| Tabelle 53: Ermittelte PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 43 |
| Tabelle 54: Ermittelte PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen..... | 44 |
| Tabelle 55: Ermittelte B(a)P-Emissionsfaktoren für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 44 |
| Tabelle 56: Ermittelte B(a)P-Emissionsfaktoren für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen..... | 44 |
| Tabelle 57: Ermittelte PAH-Emissionsfaktoren für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 45 |
| Tabelle 58: Ermittelte PAH-Emissionsfaktoren für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen..... | 45 |
| Tabelle 59: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PCDD/PCDF- Emissionen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 46 |
| Tabelle 60: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten B(a)P-Emissionen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 47 |
| Tabelle 61: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PAH-Emissionen der Kleinverbraucher und Haushalte..... | 48 |
| Tabelle 62: Aktivitätsraten der offenen Verbrennung..... | 50 |
| Tabelle 63: Wertebereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für die offene Verbrennung. | 51 |
| Tabelle 64: Wertebereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für die offene Verbrennung..... | 51 |
| Tabelle 65: Wertebereich der PAH-Emissionsfaktoren für die offene Verbrennung..... | 51 |
| Tabelle 66: Berechnete Emissionen der offenen Verbrennung..... | 52 |
| Tabelle 67: Nationales Emissionsinventar für PCDD/PCDF (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen..... | 53 |
| Tabelle 68: Nationales Emissionsinventar für B(a)P (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen..... | 53 |
| Tabelle 69: Nationales Emissionsinventar für PAH (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 70: Nationales Emissionsinventar für PCB für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen | 55 |
| Tabelle 71: Nationales Emissionsinventar für HCB für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen | 55 |
| Tabelle 72: Entwicklung der brennstoffspezifischen Endenergieverbräuche der Jahre 2000 bis 2005 der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher | 71 |
| Tabelle 73: Emissionsentwicklung der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher unter den Bedingungen des Emissionsszenario 1..... | 73 |
| Tabelle 74: Prognostizierte Entwicklung der brennstoffspezifischen EF für B(a)P, PAH und PCDD/PCDF für KFA der Haushalte | 81 |
| Tabelle 75: Prognostizierte Entwicklung der brennstoffspezifischen EF für B(a)P, PAH und PCDD/PCDF für KFA der übrigen Kleinverbraucher | 81 |
| Tabelle 76: Emissionsentwicklung der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher unter den Bedingungen des Emissionsszenario 2..... | 82 |
| Tabelle 77: Zweistellige Abkürzung der Bundesländer | 86 |
| Tabelle 78: Definition der PAH-Summenparameter | 88 |
| Tabelle 79: PCDD/PCDF Toxizitätsequivalenzfaktoren nach NATO/CCMS und WHO [58] .. | 89 |
| Tabelle 80: : Die 6 Indikator PCB (Ballschmitter PCB)..... | 89 |
| Tabelle 81: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für die thermische Abfallbehandlung..... | 90 |
| Tabelle 82: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für die thermische Abfallbehandlung..... | 90 |
| Tabelle 83: Kenngrößen zur Ableitung der PCB-Berichtswerte für die thermische Abfallbehandlung..... | 90 |
| Tabelle 84: Kenngrößen zur Ableitung der PCB-, HCB-, PCDD/PCDF-, B(a)P-, PAH-Berichtswerte für die Zementproduktion..... | 90 |
| Tabelle 85: Kenngrößen zur Ableitung PCDD/PCDF-Berichtswerte für die metallurgische Industrie..... | 91 |
| Tabelle 86: Kenngrößen zur Ableitung B(a)P-Berichtswerte für die metallurgische Industrie. | 91 |
| Tabelle 87: Kenngrößen zur Ableitung PAH-Berichtswerte für die metallurgische Industrie. 91 | 91 |
| Tabelle 88: Kenngrößen zur Ableitung PCB-Berichtswerte für die metallurgische Industrie. 91 | 91 |
| Tabelle 89: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für Großfeuerungsanlagen, TA Luft Anlagen, Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinen. | 92 |
| Tabelle 90: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für Großfeuerungsanlagen, TA Luft Anlagen, Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinen..... | 92 |
| Tabelle 91: Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte für Großfeuerungsanlagen, TA Luft Anlagen, Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinen. | 93 |
| Tabelle 92: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-, B(a)P, PAH-Berichtswerte für die Koks- und Anodenproduktion. | 93 |
| Tabelle 93: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für den Sektor Transport und Verkehr..... | 93 |
| Tabelle 94: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für den Sektor Transport und Verkehr..... | 94 |
| Tabelle 95: Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte für den Sektor Transport und Verkehr. | 94 |
| Tabelle 96: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für Krematorien. | 94 |
| Tabelle 97: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher | 95 |
| Tabelle 98: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher. | 95 |
| Tabelle 99: Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher. | 96 |
| Tabelle 100: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für die offene Verbrennung..... | 96 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 101: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für Brandunfälle | 97 |
| Tabelle 102: Prognosen der AR der Quellkategorien aus dem ZSE [56] und zugehörige Abweichungen vom Berichtswert | 98 |
| Tabelle 103: Mittels MC-Simulation berechnete PCDD/PCDF-Emissionsprognosen [g I-TE/a] der Quellkategorien | 104 |
| Tabelle 104: Mittels MC-Simulation berechnete PCDD/PCDF-Emissionsprognosen [g I-TE/a] der einzelnen Untergruppen der Quellkategorien..... | 104 |
| Tabelle 105: Mittels MC-Simulation berechnete B(a)P-Emissionsprognosen [kg/a] der Quellkategorien | 109 |
| Tabelle 106: Mittels MC-Simulation berechnete B(a)P-Emissionsprognosen [kg/a] der einzelnen Untergruppen der Quellkategorien..... | 109 |
| Tabelle 107: Mittels MC-Simulation berechnete PAH-Emissionsprognosen [kg/a] der Quellkategorien | 114 |
| Tabelle 108: Mittels MC-Simulation berechnete PAH-Emissionsprognosen [kg/a] der einzelnen Untergruppen der Quellkategorien..... | 115 |
| Tabelle 109: Entwicklung der AR [TJ] der Brennstoffe bei HH und UEKV unter den Bedingungen des Szenario 1 (Wachstums-Szenario)..... | 120 |
| Tabelle 110: Entwicklung der AR [TJ] der Brennstoffe bei HH und UEKV unter den Bedingungen des Szenario 2 (Maßnahmen-Szenario) | 121 |
| Tabelle 111: Prognose der brennstoffspezifischen PCDD/PCDF-EF [μg I-TE/TJ] der HH und UEKV (Szenario 2) | 122 |
| Tabelle 112: Prognose der brennstoffspezifischen B(a)P-EF [mg/TJ] der HH und UEKV (Szenario 2)..... | 122 |
| Tabelle 113: Prognose der brennstoffspezifischen PAH-EF [mg/TJ] der HH und UEKV (Szenario 2)..... | 123 |
| Tabelle 114: PCDD/PCDF-EF [μg I-TE/t] der Sinterproduktion für Szenario 3 | 124 |
| Tabelle 115: Prognose der PCDD/PCDF-Emissionen [g I-TE/a] aus Sinteranlagen mit und ohne Minderung der Konzentrationen im Abgasvolumenstrom bis 2020 | 124 |

III Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen aggregiert für die verschiedenen Quellkategorien | 57 |
| Abbildung 2: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen der thermischen Abfallbehandlung | 58 |
| Abbildung 3: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Feuerungsanlagen..... | 59 |
| Abbildung 4: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Großfeuerungsanlagen, differenziert nach Brennstoffen. | 60 |
| Abbildung 5: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für TA Luft-Anlagen, differenziert nach Brennstoffen. | 60 |
| Abbildung 6: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die metallurgische Industrie. | 61 |
| Abbildung 7: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die offene Verbrennung | 62 |
| Abbildung 8: Treibstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für den Sektor Transport und Verkehr..... | 62 |
| Abbildung 9: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die HH und UEKV | 63 |
| Abbildung 10: Brennstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Kessel der UEKV | 64 |
| Abbildung 11: Brennstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Kamine der HH. | 64 |
| Abbildung 12: Brennstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Kessel der HH..... | 65 |
| Abbildung 13: B(a)P-Emissionsprognosen der aggregierten Quellgruppen..... | 65 |
| Abbildung 14: B(a)P-Emissionsprognosen für die HH und UEKV..... | 66 |
| Abbildung 15: Brennstoffspezifische B(a)P-Emissionsprognosen für Kamine der HH..... | 67 |
| Abbildung 16: Brennstoffspezifische B(a)P-Emissionsprognosen für Kessel der HH | 68 |
| Abbildung 17: PAH-Emissionsprognosen der aggregierten Quellgruppen | 68 |
| Abbildung 18: PAH-Emissionsprognosen für die HH und UEKV | 69 |
| Abbildung 19: Brennstoffspezifische PAH-Emissionsprognosen für Kamine der HH. | 69 |
| Abbildung 20: Brennstoffspezifische PAH-Emissionsprognosen für Kessel der HH..... | 70 |
| Abbildung 21: Vergleich der B(a)P-Emissionsprognosen der „Holz-Szenarien“ und den Emissionsberechnungen mittels AR aus dem ZSE. | 83 |
| Abbildung 22: Maßnahmen-Szenario der Sinter im Vergleich zu den Prognosen ohne Minderung der EF..... | 84 |
| Abbildung 23: Aufbau der Access-Datenbank zur Auswertung der Daten aus den Emissionserklärungen (PS = Primärschlüssel, FS = Fremdschlüssel)..... | 87 |

0. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde, als Beitrag zur Erfüllung der Berichtspflichten, die sich aus dem Stockholmer Abkommen und dem UNECE POPs-Protokoll ergeben, ein nationales Emissionsinventar für Deutschland für unbeabsichtigt gebildete Persistente Organische Schadstoffe (uPOPs) erstellt. Das Inventar bezieht sich auf die Emissionen von PCDD/PCDF, PAH, B(a)P, PCB und HCB des Jahres 2004 über den Luftpfad.

Aus den Berichtspflichten der o. g. Konventionen wurden für Deutschland insgesamt 14 relevante Quellkategorien abgeleitet. Die Emissionen werden hierfür jeweils auf Basis einer unterschiedlichen Anzahl von Unterkategorien berechnet. Der industrielle Sektor umfasst 10 Quellkategorien, die restlichen Quellkategorien stellen die Sektoren Transport und Verkehr, Krematorien, Kleinf Feuerungsanlagen der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher sowie die offene Verbrennung dar.

Die Berichtswerte für das Emissionsinventar werden auf Basis von Emissionsfaktoren (EF) und Aktivitätsraten (AR) (Top-Down Ansatz) mittels Monte-Carlo-Simulation (MC-Simulation) berechnet. Darüber hinaus wurden die von den Bundesländern bereitgestellten Emissionserklärungen des Jahres 2004 (EE 2004) ausgewertet. Die dort berichteten Emissionen werden als Vergleichswerte für die berechneten Schadstofffrachten der verschiedenen industriellen Sektoren an entsprechender Stelle mit angegeben. Für Sinteranlagen und Elektrostahlwerke wurden zudem auch Bottom-Up-Emissionsberechnungen aus der Betrachtung der einzelnen Anlagen durchgeführt.

Im Rahmen einer umfassenden Literaturstudie konnten quellgruppenspezifische Emissionsfaktoren für die oben genannten Schadstoffe ermittelt werden. Für die 10 industriellen Sektoren wurden zusätzlich die Emissionserklärungen 2004 zur Ableitung von Emissionsfaktoren herangezogen. Aus den ermittelten Emissionsfaktoren für die verschiedenen Subkategorien wurden jeweils für Deutschland repräsentative Faktoren gebildet. Diese Emissionsfaktoren gehen größtenteils mit einer angenommenen Unsicherheit von +/- 50 % und einer angenommenen Normalverteilung in die Emissionsberechnungen (MC-Simulation) ein.

Die AR der verschiedenen Quellgruppen stammen größtenteils aus dem ZSE [62] oder wurden aus verschiedenen Literaturquellen ermittelt. Für die Emissionsberechnung werden die dem ZSE [62] entnommenen AR einheitlich mit einer Abweichung von +/- 1% und einer Normalverteilung belegt. Alle übrigen AR gehen, je nach Sektor und Datenverfügbarkeit, mit unterschiedlichen Abweichungen und Verteilungen in die MC-Simulation ein.

Die Emissionen und zugehörigen Schwankungsbereiche werden mittels MC-Simulation separat für jede Subkategorie, die verschiedenen Hauptkategorien und das Gesamtinventar berechnet. Die Schwankungsbereiche der berechneten Emissionen werden als 2,5 und 97,5% Perzentil angegeben.

Mit Hilfe des erstellten Emissionsinventars können die Hauptquellgruppen der einzelnen Schadstoffe benannt und die wesentlichen Schwachstellen und Datenlücken der uPOPs-Emissionsdatenerfassung identifiziert werden.

Die Hauptemittenten für PCDD/PCDF sind die metallurgische Industrie, die offene Verbrennung und die häuslichen Verbrennungsquellen. Für das Jahr 2004 ergibt sich eine PCDD/PCDF-Gesamtfracht von insgesamt etwa 127 g I-TE. Ca. 55 g I-TE stammen dabei aus der metallurgischen Industrie, näherungsweise etwa 32 g I-TE aus der offenen Verbrennung, ca. 22 g I-TE aus den Kleinf Feuerungsanlagen der Haushalte (HH) und übrigen Kleinverbraucher (UEKV) und ca. 8 g I-TE aus den Feuerungsanlagen zur öffentlichen Strom- und Wärmebereitstellung.

Die Emissionen von B(a)P und PAH stammen vorwiegend aus den häuslichen Verbrennungsquellen. Insgesamt werden im Jahr 2004 etwa 32 t B(a)P emittiert, wovon in etwa 31 t auf die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher zurückgehen. Von den insgesamt im Jahr 2004 emittierten ca. 97 t PAH stammen ca. 83 t

aus den Haushalten und übrigen Kleinverbrauchern. Der Großteil der Emissionen von B(a)P (ca. 86 %), PAH (ca. 84 %) und PCDD/PCDF (ca. 70 %) der HH und UEKV geht auf die Holzfeuerungen zurück.

Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen das erstellte nationale Emissionsinventar für PCDD/PCDF, B(a)P und PAH. Unter „Gesamt“ sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 jeweils die Ergebnisse der MC-Simulation für das Gesamtinventar angegeben, NE („nicht ermittelt“) bezeichnet Sektoren, für welche für den jeweiligen Schadstoff keine Emissionsberechnung durchgeführt werden konnte.

Tabelle 1: Nationales Emissionsinventar für PCDD/PCDF (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PCDD/PCDF [g I-TE] | | |
|--|--------------------|--------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 1,5 | 2,2 | 2,8 |
| Zementöfen | 0,4 | 0,8 | 1,2 |
| Zellstoffproduktion | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Metallindustrie | 40,6 | 55,3 | 70,8 |
| Offene Verbrennung | 16,0 | 32,4 | 54,4 |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | 17,2 | 22,1 | 27,1 |
| Feuerungsanlagen | 5,4 | 7,5 | 10,1 |
| Chemische Industrie ¹ | | NE | |
| Krematorien | 0,10 | 0,14 | 0,17 |
| Transport und Verkehr | 3,2 | 3,6 | 4,1 |
| Tierkörperbeseitigung | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| Textil- und Lederbehandlung ² | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 0,9 | 1,7 | 2,6 |
| Holzschutzmittelbehandlung ³ | | NE | |
| Gesamt⁴ | 102 | 126,5 | 154 |

Tabelle 2: Nationales Emissionsinventar für B(a)P (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | B(a)P [kg] | | |
|--|----------------|--------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 34,7 | 55 | 75 |
| Zementöfen | 12,5 | 25,1 | 37,6 |
| Zellstoffproduktion ⁵ | | NE | |
| Metallindustrie | 203 | 286 | 369 |
| Offene Verbrennung | 206 | 374 | 642 |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | 20.481 | 30.703 | 41.487 |
| Feuerungsanlagen | 135 | 164 | 195 |
| Chemische Industrie ⁶ | | NE | |
| Krematorien | | NE | |
| Transport und Verkehr | 277 | 312 | 347 |
| Tierkörperbeseitigung ⁷ | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung ⁸ | | NE | |

¹ Berichtswert PCDD/PCDF aus EE 2004: 0,008 g I-TE

² Berichtswert PCDD/PCDF aus EE 2004: 5,6 E-5 g I-TE

³ Berichtswert PCDD/PCDF aus EE 2004: 2,9 E-5 g I-TE

⁴ Gesamtemission PCDD/PCDF inkl. ^{1,2,3}: 116 g I-TE

⁵ Berichtswerte B(a)P aus EE 2004: 0,031 kg

⁶ Berichtswerte B(a)P aus EE 2004: 2,5 kg; PAH: 56,7 kg

⁷ Berichtswert B(a)P aus EE 2004: 0,04 kg

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | B(a)P [kg] | | |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Koks- und Anodenproduktion | 64 | 119 | 174 |
| Holzschutzmittelbehandlung | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| Gesamt⁹ | 21.765 | 32.040 | 42.772 |

Tabelle 3: Nationales Emissionsinventar für PAH (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PAH [kg] | | |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | | NE | |
| Zementöfen | 1.571 | 3.140 | 4.708 |
| Zellstoffproduktion | | NE | |
| Metallindustrie | 1.413 | 2.023 | 2.632 |
| Offene Verbrennung | 215 | 658 | 1.456 |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | 53.622 | 82.867 | 112.164 |
| Feuerungsanlagen | 2.904 | 3.781 | 4.803 |
| Chemische Industrie ⁶ | | NE | |
| Krematorien | | NE | |
| Transport und Verkehr | 1.572 | 1.802 | 2.028 |
| Tierkörperbeseitigung | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 1.235 | 2.335 | 3.436 |
| Holzschutzmittelbehandlung | 2,5 | 5,0 | 7,6 |
| Gesamt¹⁰ | 67.337 | 96.611 | 126.002 |

Für die Ermittlung der HCB- und PCB-Emissionen steht derzeit keine ausreichende Datengrundlage zur Verfügung, weder in Form von Emissionsfaktoren zur Berechnung von Emissionen, noch seitens der in den EE 2004 berichteten Emissionen. Eine verlässliche Aussage über die Größenordnung der Gesamtemissionen für Deutschland und die jeweiligen Hauptquellgruppen kann daher zum jetzigen Zeitpunkt nicht getroffen werden.

Einen weiteren Schwachpunkt des Inventars stellt die Emissionserfassung des Sektors der offenen Verbrennung dar. Insbesondere die Aktivitätsraten der Unterkategorien Brandunfälle, Waldbrände, Grüngutverbrennung und illegale Müllverbrennung sind mit hoher Unsicherheit behaftet.

Ausgehend von dem Emissionsinventar für das Jahr 2004 als Referenzszenario werden für PCDD/PCDF, B(a)P und PAH Emissionsprognosen für die Jahre 2010, 2015 und 2020 berechnet. Soweit möglich, erfolgte die Berechnung der Prognosen auf Basis der im ZSE [62] prognostizierten Aktivitätsraten und unter der Annahme konstanter Emissionsfaktoren. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden für die Prognosejahre sukzessive erhöht und für das Jahr 2020 mit der doppelten Abweichung im Vergleich zum Bezugsjahr 2004 belegt. Als Ergebnis fallen die PCDD/PCDF-Emissionen bis zum Jahr 2020 insgesamt auf etwa 108 g I-TE/a, die B(a)P-Emissionen auf etwa 23 t/a und die PAH-Emissionen auf etwa 71 t/a ab.

Dabei wird allerdings der erwartete Anstieg des emissionsintensiven Holzeinsatzes zur Wärmeengewinnung, insbesondere bei den Haushalten und übrigen Kleinverbrauchern, nicht berücksichtigt. Hierzu wird speziell ein Wachstums-Szenario (Szenario 1) berechnet, wobei ein stetig steigender Holzeinsatz von jährlich 5% auf Kosten der emissionsärmeren Wärmeengewinnung mit Heizöl angenommen wird, bei konstanten Emissionsfaktoren. In

⁸ Berichtswert B(a)P aus EE 2004: 0,02 kg

⁹ Gesamtemission B(a)P inkl. ^{5,6,7,8}: 32.924 kg

¹⁰ Gesamtemission PAH inkl. ⁶: 115.041 kg

diesem Szenario 1 liegen im Jahr 2020 die PCDD/PCDF-Emissionen der HH und UEKV um etwa 27 g I-TE, die B(a)P-Emissionen um etwa 45 t und die PAH-Emissionen um etwa 117 t über den Emissionen des Referenzszenarios.

Aufbauen auf dem für das Jahr 2004 erstellten Emissionsinventar werden Maßnahmen zur Schließung von Datenlücken sowie für eine zukünftig verbesserte uPOPs-Emissionsdatenerfassung abgeleitet. Außerdem werden Ansatzpunkte für mögliche weitere Maßnahmen zur uPOPs-Emissionsreduktion angesprochen und die bei Umsetzung dieser Maßnahmen erreichbaren Minderungspotentiale bestimmt. Die PCDD/PCDF-Hauptquellgruppen des industriellen Sektors sind durch das BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz) [41] über die entsprechenden Verordnungen sowie durch die TA Luft [42] über Grenzwertregelungen bereits zur PCDD/PCDF-Emissionsreduktion verpflichtet. Mit Ausnahme der Sinteranlagen der metallurgischen Industrie decken sich diese Grenzwerte mit den über den Einsatz der besten verfügbaren Techniken (BVT) erreichbaren Konzentrationen. Die Quellgruppen des industriellen Sektors leisten vergleichsweise geringe Beiträge zu den B(a)P- und PAH-Emissionen.

Die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher unterliegen bisher keiner direkten Grenzwertregelung für POPs-Emissionen. Die geplante Novellierung der 1. BImSchV [37] lässt in Zusammenhang mit einer geplanten Senkung der Leistungsgrenzen von Kleinf Feuerungsanlagen zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten sowie der Absenkung der Emissionsgrenzwerte für CO und Staub auch eine Absenkung der POPs-Emissionen erwarten. Sehr wichtig in Zusammenhang mit der Emissionsminderung dieser Hauptquellgruppe sind außerdem auch Förderprogramme durch Bund und Länder. Beispielsweise werden Investitionszuschüsse für die Anschaffung emissionsarmer Anlagen bewilligt und es werden sog. Ökolabels zur Absatzförderung emissionsarmer Anlagen vergeben. Die Durchführung öffentlicher Informationsprogramme zur sachgemäßen Betreibung der Anlagen sowie eine regelmäßige Wartung der Anlagen wirken sich ebenfalls emissionsmindernd aus.

Hauptquellgruppe des Sektors der offenen Verbrennung sind der Gebäudebrand von Industrieanlagen und die illegale Müllverbrennung. Maßnahmen zur Emissionsminderung können hier lediglich bei Brandschutzmaßnahmen, dem Einsatz schadstoffarmer Baustoffe und der Förderung eines weiterhin wachsenden Umweltbewusstseins der Bevölkerung ansetzen.

Zur Verbesserung der uPOPs-Emissionsdatenerfassung ist vorrangig die Ermittlung von HCB- und PCB-Emissionsfaktoren für alle Quellkategorien anzustreben sowie die Erhebung aktueller Informationen zu den Aktivitäten und der Technikstruktur des Anlagenbestandes der Kleinf Feuerungsanlagen zur Holzfeuerung. Die Datenlage der ermittelten Emissionsfaktoren lässt bisher außerdem eine Angabe der PCDD/PCDF-Emissionen lediglich als I-TE zu, während im Stockholmer Abkommen WHO-TE gefordert werden. Eine verbesserte Erfassung des PAH-4 Summenparameters könnte mit Hilfe von Emissionsprofilen zur Bestimmung der PAH-4 Emissionen aus den B(a)P-Emissionen erreicht werden.

Wesentliche Emissionsreduktionen können sich bei der Umsetzung von Minderungsmaßnahmen in Sinteranlagen und Kleinf Feuerungsanlagen ergeben. Mittels zweier Maßnahmen-Szenarien (Szenario 2 und Szenario 3) wird die maximal mögliche Emissionsminderung dieser Quellgruppen berechnet. Szenario 2 berücksichtigt den erwarteten Anstieg des Holzverbrauches in den Kleinf Feuerungsanlagen (KFA) und geht außerdem von einer Modernisierung des gesamten Anlagenbestandes der KFA auf den Stand der derzeitigen besten verfügbaren Technik (BVT) bis zum Jahr 2020 aus. Hierzu werden neben den Brennstoffverbräuchen auch Prognosen für die Entwicklung der Emissionsfaktoren durchgeführt.

Szenario 2 ergibt eine Reduktion der B(a)P-Emissionen der Kleinfeuerungsanlagen auf etwa 10 t, der PAH-Emissionen auf etwa 32 t und der PCDD/PCDF-Emissionen auf etwa 8 g I-TE im Jahr 2020.

Für das zweite Maßnahmenzenario (Szenario 3) wird eine Reduktion der PCDD/PCDF-Konzentrationen im Abgasstrom von Sinteranlagen bis zum Jahr 2020 angenommen. Die PCDD/PCDF-Emissionen der Sinteranlagen fallen unter den getroffenen Annahme bis zum Jahr 2020 auf ca. 11 g I-TE; die Prognose für das Jahr 2020 ohne weitere Minderung liegt bei ca. 32 g I-TE PCDD/PCDF aus Sinteranlagen.

0. Summary

In the present study the German emission inventory 2004 for unintentionally released Persistent Organic Pollutants (uPOPs) was prepared to contribute to the reporting obligations of the Stockholm Convention and the UNECE POPs-Protocol. The inventory refers to emissions into the air of unintentionally formed PCDD/PCDF, PAH, B(a)P, PCB and HCB in the year 2004.

According to the above mentioned conventions 14 relevant source categories have been derived for Germany and their emissions are adapted from different sub-categories. The industrial sector comprises 10 source categories; other source categories are road transport, crematoria, small scale combustion facilities and open burning.

The values of the inventory are calculated by emission factors and activity rates (Top-Down calculations) using Monte Carlo (MC) simulation. Furthermore, the Emission Declarations of the year 2004, provided by the Federal States of Germany, were analyzed. The reported emissions are mentioned in the present study as reference values for the pollutant loads of the industrial sector. Bottom-Up emission calculations based on the releases of individual plants have been made for sintering plants and electric steel plants.

Within an extensive study of relevant literature specific emission factors for each sub-category and the above mentioned pollutants were derived. Additionally emission factors for the 10 Industrial Sectors were calculated from the Emission Declarations 2004. Based on these emission factors, specific emission factors representing the current situation in Germany were generated. The emission factors enter the MC-simulation mostly with an uncertainty of +/- 50 % and a normal distribution of the values is assumed.

The activities of the different source categories originate mainly from the ZSE [62] or have been derived from different references. The activities of the ZSE [62] were provided with uncertainties of +/- 1% and a normal distribution. Activities derived from other sources were provided with specific uncertainties and distributions taking into account the data availability.

The emissions and their corresponding uncertainties are calculated separately for each sub-category, the main categories and the whole inventory using Monte Carlo Simulation. The range of the calculated emissions are given as the 2.5 and 97.5 % percentile.

The provided inventory allows the identification of the main source categories of each pollutant and the detection of significant data gaps and deficiencies of uPOPs reporting.

The main emission sources for PCDD/PCDF are the metal industry, open burning and residential combustion. For the year 2004 the total PCDD/PCDF pollutant load averages 127 g I-TE. About 55 g I-TE derive from the metal industry, approximately 32 g I-TE from open burning, 22 g I-TE from residential combustion and 8 g I-TE from power stations.

Emissions of B(a)P and PAH are mainly caused by residential combustion. In 2004 a total amount of approximately 32 t B(a)P was emitted, whereas 31 t were due to residential combustion. The overall PAH-emissions of 97 t are dominated by residential combustion with 83 t. Within residential combustion, 86% of B(a)P-, 84% of PAH- and 70% of PCDD/PCDF-emissions are due to wood combustion.

Table 1, Table 2 and Table 3 display the national emission inventory for PCDD/PCDF, B(a)P and PAH. „Total“ denotes in Table 1, Table 2 and Table 3 the results of MC-Simulation for the over-all inventory, ND (“not determined”) denotes sectors if no emission calculations have been accomplished.

Table 1: National emission inventory 2004 for PCDD/PCDF (emissions into the air) according to the Stockholm Convention

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PCDD/PCDF [g I-TE] | | |
|--|--------------------|--------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Waste incineration | 1,5 | 2,2 | 2,8 |
| Cement kilns | 0,4 | 0,8 | 1,2 |
| Production of pulp | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Thermal processes in the metallurgical industry | 40,6 | 55,3 | 70,8 |
| Open burning | 16,0 | 32,4 | 54,4 |
| Residential combustion | 17,2 | 22,1 | 27,1 |
| Heat and power generation | 5,4 | 7,5 | 10,1 |
| Chemical industry ¹ | | NE | |
| Crematoria | 0,10 | 0,14 | 0,17 |
| Transport | 3,2 | 3,6 | 4,1 |
| Destruction of animal carcasses | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| Textile and leather dyeing ² | | NE | |
| Coke and anode production | 0,9 | 1,7 | 2,6 |
| Wood preservation ³ | | NE | |
| Total⁴ | 102 | 126,5 | 154 |

Table 2: National emission inventory 2004 for B(a)P (emissions into the air) according to the Stockholm Convention

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | B(a)P [kg] | | |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Waste incineration | 34,7 | 55 | 75 |
| Cement kilns | 12,5 | 25,1 | 37,6 |
| Production of pulp ⁵ | | NE | |
| Thermal processes in the metallurgical industry | 203 | 286 | 369 |
| Open burning | 206 | 374 | 642 |
| Residential combustion | 20.481 | 30.703 | 41.487 |
| Heat and power generation | 135 | 164 | 195 |
| Chemical industry ⁶ | | NE | |
| Crematoria | | NE | |
| Transport | 277 | 312 | 347 |
| Destruction of animal carcasses ⁷ | | NE | |
| Textile and leather dyeing ⁸ | | NE | |
| Coke and anode production | 64 | 119 | 174 |
| Wood preservation | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| Total⁹ | 21.765 | 32.040 | 42.772 |

¹ Emission Declarations 2004: 0,008 g PCDD/PCDF (I-TE)

² Emission Declarations 2004: 5,6 E-5 g PCDD/PCDF (I-TE)

³ Emission Declarations 2004: 2,9 E-5 g PCDD/PCDF (I-TE)

⁴ Total emission of PCDD/PCDF incl. ^{1,2,3}: 116 g I-TE

⁵ Emission Declarations 2004: 0,031 kg B(a)P

⁶ Emission Declarations 2004: 2,5 kg B(a)P; PAH: 56,7 kg

⁷ Emission Declarations 2004: 0,04 kg B(a)P

⁸ Emission Declarations 2004: 0,02 kg B(a)P

⁹ Total emission of B(a)P incl. ^{5, 6, 7, 8}: 32.924 kg

Table 3: National emission inventory 2004 for PAH (emissions into the air) according to the Stockholm Convention

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PAH [kg] | | |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Waste incineration | | NE | |
| Cement kilns | 1.571 | 3.140 | 4.708 |
| Production of pulp | | NE | |
| Thermal processes in the metallurgical industry | 1.413 | 2.023 | 2.632 |
| Open burning | 215 | 658 | 1.456 |
| Residential combustion | 53.622 | 82.867 | 112.164 |
| Heat and power generation | 2.904 | 3.781 | 4.803 |
| Chemical industry ⁶ | | NE | |
| Crematoria | | NE | |
| Transport | 1.572 | 1.802 | 2.028 |
| Destruction of animal carcasses | | NE | |
| Textile and leather dyeing | | NE | |
| Coke and anode production | 1.235 | 2.335 | 3.436 |
| Wood preservation | 2,5 | 5,0 | 7,6 |
| Total¹⁰ | 67.337 | 96.611 | 126.002 |

For the determination of HCB- and PCB- emissions the available data set is currently not sufficient; neither in respect of emission factors nor regarding the emissions listed in the industries' emission declarations 2004. Reliable information about the magnitude of total emissions of these pollutants and the identification of the corresponding main source categories are not possible at the moment.

Another deficiency of the emission inventory is the ascertainment of the emissions of open burning. Particularly the activities of the sub-categories fire accidents, forest fires, open biomass burning and illegal waste burning are highly uncertain.

With the present inventory as reference scenario emission projections for PCDD/PCDF, B(a)P and PAH were calculated for the years 2010, 2015 and 2020. The calculation of the emission projections are mainly based on predicted activities as given in ZSE [62] and assumed constant emission factors for the forecasted years. The ranges of the activities are gradually increased and reach the twofold variation for the year 2020 compared to the reference year 2004. As a result the PCDD/PCDF emissions decline towards 108 g I-TE, the B(a)P-emissions towards 23 t and the PAH-emissions towards 71 t in the year 2020.

The expected increase of the emission-eminent energetic use of wood, especially concerning residential combustion, remains unaccounted in this prognosis. Therefore an "increase-scenario" (scenario 1) is calculated, wherein a steady increase of wood use in residential combustion of 5 % per year at the cost of the less emission-eminent combustion of light fuel oil is assumed. Emission factors are supposed to be constant. Scenario 1 results in an increase of PCDD/PCDF-emissions from residential combustion of 27 g I-TE, of B(a)P-emissions of 45 t and PAH-emissions of 117 t until the year 2020.

From the developed inventory for the year 2004 measures to eliminate data gaps and to improve future uPOPs reporting are derived. Further measures for uPOPs-reduction are proposed and achievable reduction potentials are identified.

¹⁰Total emission of PAH incl. ⁶: 115.041 kg

The main emission sources for PCDD/PCDF of the industrial sectors are obliged to reduce emissions by the BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz) [41] and its corresponding regulations as well as the Technical Instructions on Air Quality (TA Luft) [42] by means of limit values.

Except for sintering plants of the metal industry these limiting values correspond to the achievable concentrations reached by the application of the best available technique (BAT).

The source categories of the industrial sector contribute to a small extent to the B(a)P- and PAH-emissions of the inventory.

There are no emission limit values for POPs- emissions of small scale residential combustion yet. With the planned amendment of the 1. BImSchV [37] POPs emission reductions are expected by the lowering of the minimum capacities to comply with emission limits and the reduction of emission thresholds for CO and dust which correlate to a certain extent with POPs emissions. With regard to the reduction of emissions from residential combustion facilities governmental support programmes should be mentioned. Subsidies are available for the purchase of low-emission facilities and eco-labels given to low-emission facilities should promote their distribution. Public information programmes on the appropriate operation of combustion installations and a continuous maintenance programme will contribute to emission reductions.

Main source categories of open burning are the accidental fires of industrial plants and the illegal waste combustion. Emission reduction measures for this source category can only be achieved by fire prevention measures as well as further ecological awareness raising of the population.

To improve the uPOPs emission reporting the determination of HCB- and PCB- emission factors for all source categories should be achieved as well as the improvement of current data on activities and the technology structure of facilities for small scale wood combustion. Furthermore PCDD/PCDF emissions can currently only be calculated as I-TE whereas the Stockholm Convention claims WHO-TE. To improve the reporting of PAH-4, emission profiles to derivate these emissions from the B(a)P emissions will be helpful.

Significant emission reductions could be reached by the implementation of control measures in sintering plants and residential combustion facilities. By means of two "measure-scenarios" (scenario 2 and scenario 3) the maximum emission reduction of these source categories is calculated. Scenario 2 takes into account the expected rise in consumption of wood in residential combustion and acts secondly on the assumption of a completely up-to-date park of furnaces in 2020 in line with the current state of the art. Therefore, besides the projections of fuel consumption projections for emission factors were calculated in this scenario. Scenario 2 results in B(a)P-emissions from small scale combustion facilities in the year 2020 at a level of 10 t, PAH-emissions of 32 t and PCDD/PCDF emissions of 8 g I-TE. For the second "measure-scenario" (scenario 3) a reduction of the PCDD/PCDF concentration in flue gases of sintering plants is supposed. Until the year 2020 a reduction to 0.2 ng I-TE/m³ is assumed due to the application of the best available techniques. Under this assumption PCDD/PCDF emissions from sintering plants decline to approximately 11 g I-TE until the year 2020. Without further reduction measures emission projections for 2020 result in 32 g I-TE PCDD/PCDF from sintering plants.

1. Aufgabenstellung und Lösungsweg

Vor dem Hintergrund der Verpflichtungen, die sich aus dem Stockholm-Übereinkommen, dem UNECE POPs-Protokoll und der Verordnung (EG) 850/2004 für die Bundesrepublik Deutschland ergeben, werden in diesem Forschungsvorhaben nachfolgende Aufgabenstellungen bearbeitet.

Im ersten Teil des Forschungsvorhabens wurde eine nationale Situationsanalyse durchgeführt, bei der zunächst die Anforderungen an ein nationales Emissionsinventar aus den Berichtspflichten abgeleitet wurden. Als Ergebnis wurde eine Zusammenstellung der berichtspflichtigen und für die Bundesrepublik Deutschland relevanten Quellkategorien formuliert.

Danach wurde die aktuelle Struktur der Datenerhebung in Deutschland dokumentiert und ausgewertet. Dabei wurden sowohl die Datenerhebungen auf Länderebene (Emissionskataster und länderspezifische EPER¹¹-Daten) als auch auf Bundesebene (EPER und ZSE) untersucht. Zusätzlich wurde noch auf publizierte Daten von Seiten der Industrieverbände eingegangen. Aus diesen Punkten wurden dann zum Abschluss des ersten Teils die Anforderungen an die zukünftige Datenerhebung abgeleitet (1. Zwischenbericht).

Die Zwischenergebnisse des ersten Teils wurden am 15. November 2005 bei der Bundesländer Besprechung zu dem Nationalen Implementierungsplan (NIP) des Stockholmer Übereinkommens (POPs) im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vorgestellt und diskutiert. Insbesondere wurde das weitere Vorgehen bezüglich der Datenlieferung aus den Emissionserklärungen durch die Bundesländer abgestimmt.

Im zweiten Teil des Vorhabens wurden die Elemente für den nationalen Aktionsplan zur Erfassung von Emissionsquellen und zur Immissionsminderung erarbeitet. Der nationale Aktionsplan ist Bestandteil des Nationalen Implementierungsplans (NIP) des Stockholmer Übereinkommens. Hierzu wurde die Emissionssituation für das Basisjahr 2004 analysiert und das Datengerüst für das Emissionsinventar erstellt. Für industrielle Emissionsquellen wurden u. a. die Emissionserklärungen der Bundesländer ausgewertet. Zusammen mit den Ergebnissen der Literaturrecherche wurden für Deutschland repräsentative Emissionsfaktoren abgeleitet und die entsprechenden Aktivitätsraten in erster Linie dem ZSE¹² [62] entnommen.

Für Sektoren, die bisher nicht erhoben wurden, wurden zusätzliche Berechnungen durchgeführt. Dabei wurden zunächst insbesondere Datenlücken im Bereich der Tierkörperbeseitigungsanlagen, Holzschutzmittelbehandlungsanlagen und der offenen Verbrennung (einschließlich Brände) geschlossen.

Auf der Insel Vilm konnte am 16. Juni 2006 das vorläufige Inventar den Ländervertretern vorgestellt werden. Dabei wurden auch Schwachstellen des Inventars thematisiert, die eine bundeslandbezogene Auswertung und Kommunikation der Daten erforderten. Die Rückkommunikation der Länder wurde anschließend in den Datenbestand übernommen.

Die abschließende Erstellung des Emissionsinventars erfolgte unter Berücksichtigung der Datenunsicherheiten mit Hilfe der Monte Carlo Simulation. Für die Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren wurde dazu jeweils ein Wertebereich (95% Konfidenzintervall) und ein Verteilungstyp bestimmt. Die berechneten Emissionen werden ebenfalls als 95%-Wertebereich angegeben. Die auf der Ebene der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren

¹¹ EPER: European Pollutant Emission Register

¹² ZSE: Zentrales System Emissionen – Zentrale Datenbank des Umweltbundesamtes zur Erfassung atmosphärischer Emissionen in Deutschland (Version MESAP 4.5.3, ZSE-Abzug Stand 14.06.2006)

vorliegenden Unsicherheiten sind dadurch in aggregierter Form im Emissionsinventar berücksichtigt.

Weiterhin wird die Wirksamkeit verfügbarer Maßnahmen zur Reduktion der unbeabsichtigten Bildung und Emission von POPs, sowie deren Erfassung bewertet und es werden Emissionsprognosen bis zum Jahr 2020 durchgeführt.

2. Methodik zur Erstellung des nationalen Emissionsinventars

In diesem Kapitel werden unter 2.1 zunächst die Schadstoffsummenparameter und die bei Umrechnungen verwendeten Brennstoffeigenschaften definiert. Auf die angewandte Berechnungsmethodik und das Verfahren der Monte Carlo Simulation zur Erstellung des nationalen Emissionskatasters wird in Kapitel 2.2 eingegangen.

2.1. Definition der Schadstoffsummenparameter sowie der Brennstoffeigenschaften

Sowohl die Gruppe der polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF) als auch der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) stellen Summenparameter dar, für welche unterschiedliche Definitionen vorliegen.

PCDD/PCDF treten stets als Gemisch einzelner Kongenere auf, wobei die Giftigkeit der einzelnen Dioxine und Furane unterschiedlich ist. Zur Abschätzung der Toxizität dieser Gemische existiert das System der Toxizitätsäquivalente (TE) nach NATO-CCMS (Committee on the Challenges of Modern Society), angegeben als I-TE, sowie das System der WHO (World Health Organisation), angegeben als WHO-TE. Die beiden Systeme unterscheiden sich in der Gewichtung von drei Einzelsubstanzen (vgl. [64, S. 225] und Anhang A 2). Die Daten zu Dioxinen und Furanen liegen in erster Linie in I-TE vor, Werte in WHO-TE werden entsprechend gekennzeichnet.

Der PAH-Summenparameter kann als Summe von 4, 6, 8 oder 16 Einzelsubstanzen angegeben werden (siehe Anhang A 2). Im UNECE POPs-Protokoll werden PAH als die Summe von Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen und Indeno(1,2,3-cd)pyren angegeben (4-PAH). Im EPER werden die PAH nach Borneff berichtet (6-PAH). Die Gruppe der 4-PAH wird dazu um Fluoranthen und Benzo(ghi)perylen erweitert. Im vorliegenden Bericht umfassen die PAH-Emissionsfaktoren näherungsweise alle Emissionsfaktoren für 4-PAH, 6-PAH und 8-PAH. Für eine getrennte Betrachtung jeder dieser Gruppen ist die Datenbasis derzeit nicht ausreichend. Zusätzlich werden auch Emissionsfaktoren für die PAH-Leitsubstanz Benzo(a)pyren (B(a)P) ermittelt. Hierzu liegen die umfangreichsten Informationen vor.

Die Gruppe der Polychlorierten Biphenyle (PCB) umfasst insgesamt 209 Kongenere, die sich jeweils in der Anzahl und der Stellung der Cl-Atome unterscheiden. PCB treten in technischen Produkten wie auch in Umweltmedien immer als Gemische aus etwa 60–80 Kongeneren auf. Um den analytischen Aufwand zu minimieren wurden per Konvention 6 PCB aufgrund ihres dominierenden Vorkommens als „Indikator-PCB“ festgelegt (vgl. [38] und Anhang A 2). Ausgehend von deren Summe wird dann, wiederum per Konvention, mittels eines Faktors (meist 5), auf Gesamt-PCB geschlossen (vgl. [43]). Die PCB-Emissionsfaktoren und –Emissionen des vorliegenden Berichtes beziehen sich jeweils auf Gesamt-PCB.

Zur Umrechnung verschiedener Emissionsfaktoren müssen Dichte und Heizwert der einzelnen Brennstoffe bekannt sein. In diesem Bericht werden die in Tabelle 4 aufgeführten Werte verwendet.

Tabelle 4: Brennstoffeigenschaften [59, S. 6; 32, S. IV.28; 63, S. 39, 3, S. 14]

| Stoffbezeichnung | Heizwert [kJ/kg] | Dichte [kg/l] | Dichte [kg/m ³] |
|----------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|
| Biogas | 23.250 | | 0,0012 |
| Biodiesel/Pflanzenöl | 37.000 | | |
| Rohbraunkohle | 8.700 | | |
| Braunkohlenbrikett | 19.800 | | |
| Dieselöl | 43.000 | 0,86 | |
| Erdgas | 46.000 | | 0,00083 |
| Heizöl EL | 42.700 | 0,86 | |
| Heizöl S | 41.000 | 0,91 | |
| Holz | 15.000 | 0,8 | |
| Industrieabfälle | 19.494 | | |
| Kerosin | 43.000 | 0,8 | |
| Klärgas | 13.559 | 0,001 | |
| Ottokraftstoff | 43.500 | 0,75 | |
| Siedlungsabfälle | 10.175 | | |
| Steinkohle | 31.000 | | |
| Steinkohlenkoks | 31.000 | | |

2.2. Emissionsberechnung mittels Monte Carlo Simulation

Die Erstellung des nationalen Emissionsinventars erfolgt mittels der Emissionsberechnung aus dem Produkt von Aktivitätsrate und Emissionsfaktor. Der Abscheidegrad der Abgasreinigungsanlage ist in den Emissionsfaktoren bereits berücksichtigt (Gleichung 1).

Gleichung 1

$$EM = AR_{\text{Bezugsstoff}} * EF$$

Aktivitätsrate und Emissionsfaktor werden als Bereich, bestehend aus Minimum, Berichtswert, Maximum und Verteilungstyp angegeben. Als Verteilungstypen können die Normalverteilung, die Lognormalverteilung, die Dreiecksverteilung und die Gleichverteilung angegeben werden.

Hauptquelle für Aktivitätsraten ist das ZSE. In diesem Fall wird eine Abweichung von +/- 1% und eine Normalverteilung angenommen. In allen übrigen Fällen wird die Abweichung sowie der Verteilungstyp abhängig von der jeweiligen Datengrundlage und dem betreffenden Sektor spezifisch gewählt. Erläuterungen hierzu sind an den betreffenden Stellen in Kapitel 3 zu finden.

Emissionsfaktoren wurden im Rahmen einer Literaturstudie für die verschiedenen Quellgruppen ermittelt sowie aus dem Datenbestand der Emissionserklärungen der Bundesländer abgeleitet. Nach dem Ausschluss von für Deutschland untypischen Faktoren, beispielsweise Emissionsfaktoren für veraltete Technologien, werden aus den restlichen Werten Mittelwert und Median bestimmt. Aus Mittelwert und Median sowie unter Berücksichtigung weiterer quellgruppenspezifischer Kriterien wurde abschließend der repräsentative Emissionsfaktor (Berichtswert) bestimmt. In der zugehörigen *Excel-Datei* „Emissionsfaktoren_POPS_DFIU“ ist die quellgruppenspezifische Zusammenstellung der Emissionsfaktoren enthalten. In der Liste der Emissionsfaktoren beziehen sich alle nicht

speziell gekennzeichneten PAH-Emissionsfaktoren auf den Summenparameter des UNECE POPs-Protokolls (4-PAH) und alle PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren auf Toxizitätsequivalente nach NATO-CCMS.

In den Tabellen in Anhang A 3 sind die berücksichtigte Anzahl an Einzelfaktoren, die berechneten Median- und Mittelwerte sowie die Maxima und Minima, welche die Basis für die Auswahl des Berichtswertes liefern, für die jeweiligen Quellgruppen und Schadstoffe aufgeführt. Im Folgenden werden diese Größen als „Kenngrößen zur Ableitung der Berichtswerte“ bezeichnet. Werden keine weiteren Angaben in Kapitel 3 zu den gewählten Emissionsfaktoren (Berichtswerte) gemacht, liegen diese zwischen Median und Mittelwert der ermittelten Einzelfaktoren und es wird eine Normalverteilung sowie eine Abweichung von +/- 50% angenommen.

Mit Hilfe der Monte Carlo Simulation wird das Emissionsinventar in bis zu 30.000 Durchläufen berechnet. Bei Erreichen des Abbruchkriteriums (Mittelwertschwankung des Gesamtinventars < 1%) werden die Berechnungen nach < 30.000 Durchläufen beendet. Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren stellen Annahmen und die berechneten Emissionen Vorhersagen dar. In jedem Rechendurchlauf wird zunächst für die Annahmen ein Wert entsprechend der festgelegten Bereiche und Verteilungstypen realisiert. Danach erfolgen die Berechnung des Inventars und die Speicherung der Vorhersagen. Nach Abschluss der Rechendurchläufe werden die Vorhersagen statistisch ausgewertet, so dass der Mittelwert und die 2,5% und 97,5% Perzentile angegeben werden können. Die Berechnungen der Emissionen (Mittelwerte) und Schwankungsbereiche (Perzentile) werden jeweils separat für die verschiedenen Subkategorien, die Hauptkategorien und das Gesamtinventar berechnet. Die Berechnungen erfolgen parallel auf drei verschiedenen Aggregationsstufen, wobei die verschiedenen Unsicherheiten von Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren der einzelnen Subkategorien zunächst für die verschiedenen Hauptkategorien und schließlich für das Gesamtinventar aggregiert werden.

3. Nationales Emissionsinventar

Die nachfolgenden Unterkapitel beinhalten jeweils die Emissionsermittlung der Quellkategorien für das nationale Emissionsinventar.

Am 21. und 22. März 2007 wurden die Ergebnisse des Endberichts vom 31.10.2006 mit verschiedenen UBA-Fachvertretern diskutiert. Die Ergebnisse der Fachgespräche wurden in der vorliegenden überarbeiteten Version des Endberichtes mit berücksichtigt.

Industrieller Sektor

Zur Ermittlung der Emissionen des industriellen Sektors stehen Daten aus den Emissionserklärungen zur Verfügung. Diese wurden bei den zuständigen Behörden der Bundesländer im Rahmen eines LAI-Beschlusses vom 09. März 2005 (109. Sitzung) angefragt. Hierzu fand am 15. November 2005 am BMU ein Treffen mit Vertretern des BMU, der Bundesländer, des Umweltbundesamtes und des DFIU statt. Im Anschluss daran wurde das Datenformat, in dem die Daten aus den Emissionserklärungen angefragt werden, mit dem Umweltbundesamt und dem Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen abgestimmt und an die Bundesländer weitergeleitet.

Bei der Sitzung des Arbeitskreises Emissionskataster am 16. Mai 2006 auf der Insel Vilm wurde das Datengerüst zum Emissionsinventar den Ländervertretern vorgestellt und das weitere Vorgehen abgestimmt.

Die Auswertung der von den Bundesländern übermittelten Datensätze erfolgte mit Hilfe einer Access-Datenbank, deren Struktur in Anhang A 1 erläutert wird.

Die Bundesländer haben Daten aus den Emissionserklärungen in jeweils unterschiedlichem Umfang übermittelt, so dass nach einer Datenüberarbeitung (siehe A 1) eine zweistufige Auswertung der Daten vorgenommen wurde.

In der ersten Stufe wurden die berichteten POPs-Emissionen den einzelnen Quellkategorien zugeordnet. Für Datensätze, die keine Angaben zu berichteten Emissionen, jedoch zu gehandhabten Stoffen enthalten, wurden für Großfeuerungsanlagen die Emissionen über die jeweiligen Massenströme und die vom DFIU gewählten Emissionsfaktoren nachberechnet.

Aus den vollständig und eindeutig berichteten Datensätzen wurden in einem zweiten Schritt Emissionsfaktoren abgeleitet, die dann in die Bildung des Berichtswertes mit eingegangen sind.

Die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen geben einen Hinweis auf die Größenordnung der Emissionen des industriellen Sektors und es können die Hauptemittenten der verschiedenen Schadstoffgruppen ausgemacht werden. Da nicht zu allen Anlagen und nicht zu allen erforderlichen Schadstoffgruppen (vgl. Kapitel 2.1) Emissionsangaben gemacht werden und auch nicht zu allen Anlagen die erforderlichen Massenströme der gehandhabten Stoffe zur Nachberechnung von Emissionen vorhanden sind, können die Jahresfrachten der Emissionserklärungen nicht direkt für das Emissionsinventar übernommen werden. Sie geben jedoch wichtige Hinweise zur Absicherung der berechneten Emissionen.

In einigen Fällen wurden einzelne überhöhte Emissionsangaben der EE 2004 zu PCDD/PCDF als Einheitenfehler identifiziert und die berichteten Jahresfrachten um diese Emissionen vermindert. Soweit keine Rückmeldung über die exakte Korrektur durch die Bundesländer erfolgte, wird die berichtete Gesamtsumme der Emissionserklärungen abzüglich der überhöhten Frachten an entsprechender Stelle in Kapitel 3 mit „ca.“ bezeichnet.

Die Emissionen des industriellen Sektors werden abschließend durch „Top-Down Berechnungen“ ermittelt (d.h. unter Verwendung eines mittleren Emissionsfaktors für die betrachtete Aktivität). Zur Information wird den berechneten Werten in der Spalte „EE 2004“ das Ergebnis der Emissionserklärungen gegenübergestellt. Abweichungen von diesen berichteten Frachten erklären sich, wie oben ausgeführt, aus der Unvollständigkeit der Angaben. Weiterhin konnten nicht alle berichteten Werte im Rahmen der Auswertung überprüft werden.

Für die Quellgruppen der Sinteranlagen und Elektrostahlwerke wurde außerdem versucht, über einen „Bottom-Up-Ansatz“ die PCDD/PCDF-Emissionen zu ermitteln (d.h. durch Einzelberechnungen für jede Anlage des Sektors). Aufgrund der Überschaubarkeit der Anlagenanzahl sowie ihrer Rolle als Hauptemittenten für PCDD/PCDF bietet sich diese Art der Emissionsberechnung für diese beiden Quellgruppen an, insbesondere auch zum Vergleich mit den Emissionswerten der EE 2004 sowie mit den Werten aus dem Top-Down Ansatz.

Übrige Sektoren

Die Emissionen der Sektoren Haushalte und übrige Kleinverbraucher, Transport und Verkehr sowie offene Verbrennung werden ausschließlich über die Monte Carlo Simulation ermittelt (Kapitel 2.2).

3.1. Thermische Abfallbehandlung

Im ZSE sind für das Jahr 2004 Aktivitätsraten in TJ für Siedlungsabfälle (175.956 TJ) und Industrieabfälle (133.418 TJ) zur thermischen Behandlung verfügbar [62]. Unter der Annahme eines Heizwertes von 10.175 kJ/kg für Siedlungsabfälle und 19.494 kJ/kg für Industrieabfälle ergeben sich ca. 17 Mio. t/a Siedlungsabfälle und ca. 7 Mio. t/a

Industrieabfälle. Es wird eine Normalverteilung und eine Abweichung von +/- 1% für diese Aktivitätsraten angenommen.

Im Jahr 2001 wurden in Deutschland ca. 555.000 t Klärschlamm [19, S. 5] und im Jahr 2002 ca. 2,2 Mio. t Altholz [34, S. 58] thermisch behandelt¹³. Aufgrund fehlender aktuellerer Daten werden diese Werte für das Jahr 2004 übernommen. Für diese Aktivitätsraten wird ebenfalls eine Normalverteilung angenommen und aufgrund des unterschiedlichen Zeitbezuges eine Abweichung von +/-10% (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Bereiche der verwendeten Aktivitätsraten für die thermische Abfallbehandlung.

| Bezug | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|------------------|---------|------------|--------------|------------|------------|
| Siedlungsabfälle | [t/a] | 17.120.070 | 17.293.000 | 17.465.930 | normal |
| Industrieabfälle | [t/a] | 6.775.626 | 6.844.066 | 6.912.507 | normal |
| Klärschlamm | [t/a] | 499.500 | 555.000 | 610.500 | normal |
| Altholz | [t/a] | 1.980.000 | 2.200.000 | 2.420.000 | normal |

Aus dem Datenbestand der Emissionserklärungen konnten für Siedlungsabfälle, Klärschlamm und Altholz Emissionsfaktoren (EF) abgeleitet und zusammen mit Angaben aus 7 Literaturquellen ([64], [27], [46], [12], [23], [18], [25]) ausgewertet werden. Die Abweichung der EF wird pauschal auf +/- 50% festgelegt und eine Normalverteilung wird angenommen. Die Kenngrößen zur Ableitung der Emissionsfaktoren sind in Tabelle 81, Tabelle 82 und Tabelle 83 in Anhang A 3 zu finden.

Die Berichtswerte der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren entsprechen unter der Annahme eines spezifischen Abgasvolumens von 5.500 m³/t für Siedlungs- und Industrieabfälle einer PCDD/PCDF-Konzentration im Abgas von ca. 0,01 ng I-TE/m³ (10% des Grenzwertes), für Klärschlamm von ca. 0,02 ng I-TE/m³ (20% des Grenzwertes) und für Altholz von ca. 0,055 ng I-TE/m³ (55% des Grenzwertes).

Aufgrund der geringen Datengrundlage wurden für Klärschlamm die B(a)P- und PCB-Emissionsfaktoren für Siedlungsabfälle verwendet und für Industrieabfälle generell die EF für Siedlungsmüll. PAH-Emissionsfaktoren konnten nicht ermittelt werden. Tabelle 6 zeigt den Wertebereich der Emissionsfaktoren für die thermische Abfallbehandlung

Tabelle 6: Wertebereich der Emissionsfaktoren für die thermische Abfallbehandlung.

| PCDD/PCDF | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|------------------|-------------|-------|--------------|-------|------------|
| Siedlungsabfälle | [µg I-TE/t] | 0,03 | 0,06 | 0,09 | normal |
| Industrieabfälle | [µg I-TE/t] | 0,03 | 0,06 | 0,09 | normal |
| Klärschlamm | [µg I-TE/t] | 0,06 | 0,12 | 0,18 | normal |
| Altholz | [µg I-TE/t] | 0,15 | 0,30 | 0,45 | normal |
| B(a)P | | | | | |
| Siedlungsabfälle | [mg/t] | 0,35 | 0,7 | 1,1 | normal |
| Industrieabfälle | [mg/t] | 0,35 | 0,7 | 1,1 | normal |
| Klärschlamm | [mg/t] | 0,35 | 0,7 | 1,1 | normal |
| Altholz | [mg/t] | 8,50 | 17,0 | 25,5 | normal |
| PCB | | | | | |
| Siedlungsabfälle | [mg/t] | 0,010 | 0,020 | 0,030 | normal |
| Industrieabfälle | [mg/t] | 0,010 | 0,020 | 0,030 | normal |
| Klärschlamm | [mg/t] | 0,010 | 0,020 | 0,030 | normal |
| Altholz | [mg/t] | 0,11 | 0,21 | 0,3 | normal |

In Tabelle 7 sind die mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und Schwankungsbereiche den in den Emissionserklärungen berichteten Emissionen

¹³ Die Althölzer zur thermischen Verwertung werden unter den Aktivitäten der Biomassekraftwerke in Kapitel 3.5 zusammengefasst.

gegenübergestellt. Aus den Emissionserklärungen werden sämtliche Anlagen der 4. BImSchV-Kategorien 0801A1 und 0802 zusammengefasst. Im Wesentlichen sind dies Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung und Feuerungsanlagen für gestrichenes oder lackiertes Holz.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der thermischen Abfallbehandlung unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 7: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der thermischen Abfallbehandlung.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|------------------|-------------------|----------------|------------|-----------------|--------------|
| <i>PCDD/PCDF</i> | | | | | |
| Gesamt | [g I-TE/a] | 1,1 | 2,2 | 3,3 | Ca. 3 |
| Siedlungsabfälle | [g I-TE/a] | 0,52 | 1,04 | 1,56 | Ca. 0,7 |
| Industrieabfälle | [g I-TE/a] | 0,21 | 0,41 | 0,62 | |
| Klärschlamm | [g I-TE/a] | 0,03 | 0,07 | 0,10 | |
| Altholz | [g I-TE/a] | 0,33 | 0,66 | 1,00 | Ca. 2,2 |
| <i>B(a)P</i> | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 27,0 | 55 | 83 | 68,8 |
| Siedlungsabfälle | [kg/a] | 6,1 | 12,1 | 18,1 | 34,4 |
| Industrieabfälle | [kg/a] | 2,4 | 4,8 | 7,2 | |
| Klärschlamm | [kg/a] | 0,2 | 0,4 | 0,6 | |
| Altholz | [kg/a] | 18,3 | 37 | 57 | 34,4 |
| <i>PCB</i> | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 0,5 | 1,0 | 1,4 | 0,1 |
| Siedlungsabfälle | [kg/a] | 0,17 | 0,35 | 0,52 | 0,1 |
| Industrieabfälle | [kg/a] | 0,07 | 0,14 | 0,21 | |
| Klärschlamm | [kg/a] | 0,006 | 0,011 | 0,017 | |
| Altholz | [kg/a] | 0,23 | 0,46 | 0,70 | 0,002 |

Die Anlagen zur thermischen Altholzbehandlung stellen zusammen mit den Anlagen für Siedlungsabfälle die Hauptquellen für die PCDD/PCDF-, B(a)P- und PCB-Emissionen dar.

In das Inventar werden die berechneten Emissionen übernommen.

3.2. Zementherstellung

In Deutschland wurden im Jahr 2004 von 23 Unternehmen in 59 Werken 31,4 Mio. t Zement produziert [65; 62]. Die Aktivitätsrate wird mit einer Abweichung von +/- 1% und einer Normalverteilung versehen. Für die Bestimmung der Emissionsfaktoren wurden neben den abgeleiteten Faktoren aus den Emissionserklärungen 4 Literaturquellen berücksichtigt ([49], [26], [12], [64]). Den Emissionsfaktoren wird standardmäßig eine Abweichung von +/- 50% und eine Normalverteilung unterstellt (Tabelle 8). Die Kenngrößen für die Ableitung der Emissionsfaktoren sind in Tabelle 84 des Anhanges A 3 zu finden.

Tabelle 8: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktoren für die Zementindustrie.

| Aktivitätsrate | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------|-------------|------------|--------------|------------|------------|
| Zementproduktion | [t/a] | 31.086.000 | 31.400.000 | 31.714.000 | normal |
| Emissionsfaktoren | | | | | |
| PCDD/PCDF | [µg I-TE/t] | 0,013 | 0,025 | 0,038 | normal |
| B(a)P | [mg/t] | 0,4 | 0,8 | 1,2 | normal |
| PAH | [mg/t] | 50 | 100 | 150 | normal |
| HCB | [µg/t] | 5,5 | 11,0 | 16,5 | normal |
| PCB | [µg/t] | 0,5 | 1,0 | 1,5 | normal |

In Tabelle 9 sind die mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen den in den Emissionserklärungen berichteten Emissionen gegenübergestellt. Die berechneten Emissionen übertreffen die berichteten Werte deutlich. Der im Vergleich zu B(a)P hohe PAH-Emissionsfaktor bedarf ggf. einer weiteren Überprüfung.

Tabelle 9: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der Zementindustrie.

| Schadstoff | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|------------|------------|----------------|------------|-----------------|---------|
| PCDD/PCDF | [g I-TE/a] | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 0,37 |
| B(a)P | [kg/a] | 12,5 | 25,1 | 37,7 | 3,06 |
| PAH | [kg/a] | 1566 | 3140 | 4708 | 587,5 |
| HCB | [kg/a] | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,005 |
| PCB | [kg/a] | 0,02 | 0,03 | 0,05 | |

In das Inventar werden die berechneten Emissionen übernommen.

3.3. Zellstoff- und Papierindustrie

In Deutschland wurden 2004 ca. 1,1 Mio t Zellstoff, davon ca. 480.000 t Sulfatzellstoff und ca. 620.000 t Sulfitzellstoff, produziert [62]. Die Aktivitätsrate wird standardmäßig mit einer Abweichung von +/- 1% und einer Normalverteilung versehen. Es konnte jeweils nur ein PCDD/PCDF-Emissionsfaktor für Sulfat- und Sulfitzellstoff aus dem UNEP Toolkit ermittelt werden [64]. Eine Ableitung von Emissionsfaktoren aus den Emissionserklärungen 2004 war nicht möglich. Die Emissionsfaktoren werden mit einer Abweichung von +/- 50% und einer Normalverteilung belegt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Wertebereich von Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Zellstoff- und Papierindustrie.

| Aktivitätsrate | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|-------------|---------|--------------|---------|------------|
| Sulfatzellstoffproduktion | [t/a] | 476.761 | 481.577 | 486.393 | normal |
| Sulfitzellstoffproduktion | [t/a] | 610.473 | 616.639 | 622.805 | normal |
| Emissionsfaktoren | | | | | |
| PCDD/PCDF | | | | | |
| Sulfatzellstoffproduktion | [µg I-TE/t] | 0,25 | 0,50 | 0,75 | normal |
| Sulfitzellstoffproduktion | [µg I-TE/t] | 0,05 | 0,10 | 0,15 | normal |

In Tabelle 11 sind die mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen dargestellt und den in den Emissionserklärungen berichteten Emissionen gegenüber gestellt.

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der Zellstoff- und Papierindustrie unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 11: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der Zellstoff- und Papierindustrie.

| Schadstoff | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------|-----------------|----------------|
| <i>PCDD/PCDF</i> | | | | | |
| Gesamt | [g I-TE/a] | 0,15 | 0,30 | 0,45 | 3,4 E-5 |
| Sulfatzellstoffproduktion | [g I-TE/a] | 0,12 | 0,24 | 0,36 | |
| Sulfitzellstoffproduktion | [g I-TE/a] | 0,03 | 0,06 | 0,09 | |
| <i>B(a)P</i> | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | | | | 0,031 |

In das Inventar werden die berechneten PCDD/PCDF-Emissionen übernommen.

3.4. Thermische Prozesse in der metallurgischen Industrie

Der Sektor der thermischen Prozesse in der metallurgischen Industrie setzt sich aus Anlagen der Eisen- und Stahlindustrie und der Nichteisen-Metallindustrie (NE-Metallindustrie) zusammen. Die Eisen- und Stahlindustrie beinhaltet Sinter- und Pelletierungsanlagen (4. BImSchV-Kategorie 0301.1), Hochöfen zur Roheisenproduktion (4. BImSchV-Kategorie 0302) sowie Stahlwerke zur Stahlproduktion und Gießereien (4. BImSchV-Kategorie 0302 und 0307). Die NE-Metallindustrie setzt sich aus Anlagen zur Herstellung von Nichteisen-Rohmetallen (4. BImSchV-Kategorie 0303.1) sowie aus Anlagen zum Schmelzen, Legieren oder Gießen (4. BImSchV-Kategorie 0304 und 0308) zusammen. Siemens Martin Stahl wird in Deutschland seit 1993 nicht mehr hergestellt [31, S. 156].

3.4.1. Top-Down Emissionsberechnung

Die in Tabelle 12 aufgeführten Aktivitätsraten der Eisen- und Stahlindustrie und der Aluminiumproduktion sind dem ZSE entnommen [62]. Die übrigen AR der NE-Metallindustrie stammen aus der Metallstatistik der Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM) [68]. Mit Ausnahme der Sinterproduktion werden die Aktivitätsraten aus dem ZSE [62] mit einer Abweichung von +/- 1% und einer Normalverteilung belegt. Die Aktivitätsraten der Sinterproduktion sowie die AR aus anderen Literaturquellen werden mit einer Abweichung von +/- 10 % und ebenfalls einer Normalverteilung belegt.

Die AR für Zink aus sekundären Vorstoffen (130.000 t/a) wird aufgeteilt in Umschmelzzink und Wälzrohrzink; laut WVM [67] werden rund 30.000 t Zink pro Jahr über Aufbereitung zinkhaltiger Stahlwerksstäube zurückgewonnen. Diese Menge wird als Wälzrohrzink für die Berechnungen veranschlagt.

Tabelle 12: Wertebereich der Aktivitätsraten der Metallindustrie.

| Aktivitätsrate | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|------------------------------------|---------|------------|--------------|------------|------------|
| Eisen- und Stahl | | | | | |
| Sinterproduktion ¹⁴ | [t/a] | 24.880.725 | 27.645.250 | 30.409.775 | Normal |
| Oxygenstahlproduktion | [t/a] | 31.805.730 | 32.127.000 | 32.448.270 | Normal |
| Elektrostahlherstellung | [t/a] | 14.094.630 | 14.237.000 | 14.379.370 | Normal |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [t/a] | 3.819.420 | 3.858.000 | 3.896.580 | Normal |
| Roheisenproduktion | [t/a] | 29.717.820 | 30.018.000 | 30.318.180 | Normal |
| NE-Metalle | | | | | |
| Hüttenaluminium | [t/a] | 662.146 | 668.834 | 675.522 | Normal |
| Sekundäraluminium | [t/a] | 673.200 | 680.000 | 686.800 | Normal |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | [t/a] | 255.600 | 284.000 | 312.400 | Normal |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | [t/a] | 332.100 | 369.000 | 405.900 | Normal |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | [t/a] | 104.400 | 116.000 | 127.600 | Normal |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | [t/a] | 218.700 | 243.000 | 267.300 | Normal |
| Zink (primäre Vorstoffe) | [t/a] | 226.800 | 252.000 | 277.200 | Normal |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | | | | | |
| Umschmelzzink | [t/a] | 90.000 | 100.000 | 110.000 | Normal |
| Wälzrohrzink | [t/a] | 27.000 | 30.000 | 33.000 | Normal |

Es wurden Emissionsfaktoren aus den Emissionserklärungen 2004 abgeleitet und aus 7 Literaturquellen entnommen ([27], [30], [64], [12], [61], [48], [23]). Die Kenngrößen für die Ableitung der Berichtswerte sind in Tabelle 85, Tabelle 86, Tabelle 87 und Tabelle 88 in Anhang A 3 aufgeführt.

Die PCDD/PCDF-EF der NE-Metallindustrie wurden fast ausschließlich aus dem UNEP-Toolkit übernommen [64]. Im Fall der Sekundäraluminiumproduktion kann der Toolkit-EF

¹⁴ Mittelwert aus der AR 2003 und 2005

durch 3 Werte aus den EE 2004 bestätigt werden. Der EF für die Produktion von Zink über den Wälzprozess wurde aus [33] in Verbindung mit [53] abgeleitet.

Mit Ausnahme von Kupfer wird die Produktion von NE-Metallen aus primären Vorstoffen als nicht relevant (N.R.) für PCDD/PCDF-Emissionen eingestuft.

Die Emissionsfaktoren für die Metallindustrie werden standardmäßig mit einer Abweichung von +/- 50% und einer Normalverteilung versehen und sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Wertebereich der Emissionsfaktoren für die Metallindustrie.

| PCDD/PCDF | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|------------------------------------|-------------|--------|--------------|--------|------------|
| Eisen- und Stahl | | | | | |
| Sinterproduktion | [µg I-TE/t] | 1,0 | 1,5 | 2,0 | normal |
| Oxygenstahlproduktion | [µg I-TE/t] | 0,05 | 0,10 | 0,15 | normal |
| Elektrostahlherstellung | [µg I-TE/t] | 0,25 | 0,50 | 0,75 | normal |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [µg I-TE/t] | 0,10 | 0,19 | 0,29 | normal |
| Roheisenproduktion | [µg I-TE/t] | 0,01 | 0,02 | 0,02 | normal |
| NE-Metalle | | | | | |
| Hüttenaluminium | [µg I-TE/t] | | N.R. | | |
| Sekundäraluminium | [µg I-TE/t] | 0,3 | 0,5 | 0,8 | normal |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | [µg I-TE/t] | 0,01 | 0,01 | 0,02 | normal |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | [µg I-TE/t] | 2,5 | 5,0 | 7,5 | |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | [µg I-TE/t] | | N.R. | | normal |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | [µg I-TE/t] | 0,3 | 0,50 | 0,8 | normal |
| Zink (primäre Vorstoffe) | [µg I-TE/t] | | N.R. | | |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | | | | | |
| Umschmelzzink | [µg I-TE/t] | 0,2 | 0,3 | 0,5 | normal |
| Wälzrohrzink | [µg I-TE/t] | 0,5 | 0,9 | 1,4 | normal |
| B(a)P | | | | | |
| Eisen- und Stahl | | | | | |
| Sinterproduktion | [mg/t] | 0,5 | 1,0 | 1,5 | normal |
| Elektrostahlherstellung | [mg/t] | 5,0 | 10,0 | 15,0 | normal |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [mg/t] | 5,0 | 10,0 | 15,0 | normal |
| Roheisenproduktion | [mg/t] | 1,3 | 2,5 | 3,8 | normal |
| NE-Metalle | | | | | |
| Hüttenaluminium | [mg/t] | 2 | 4 | 6 | normal |
| PAH | | | | | |
| Eisen- und Stahl | | | | | |
| Sinterproduktion | [mg/t] | 17,5 | 35,0 | 52,5 | normal |
| Oxygenstahlproduktion | [mg/t] | 0,06 | 0,12 | 0,18 | normal |
| Elektrostahlherstellung | [mg/t] | 21,5 | 43,0 | 64,5 | normal |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [mg/t] | 50 | 100 | 150 | normal |
| NE-Metalle | | | | | |
| Hüttenaluminium | [mg/t] | 40 | 80 | 120 | normal |
| PCB | | | | | |
| Eisen- und Stahl | | | | | |
| Sinterproduktion | [mg/t] | 0,45 | 0,60 | 0,75 | normal |
| Oxygenstahlproduktion | [mg/t] | 0,0018 | 0,0036 | 0,0054 | normal |
| Elektrostahl | [mg/t] | 1,13 | 1,50 | 2,25 | normal |

Die berechneten und berichteten POPs-Emissionen der metallurgischen Industrie zeigt Tabelle 14. In Tabelle 14 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der Metallindustrie unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 14: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen und berichtete Emissionen der Metallindustrie.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|------------------------------------|-------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------|
| PCDD/PCDF | | | | | |
| Gesamt | [g I-TE/a] | 34,2 | 55,35 | 77,2 | 53,6 |
| <i>Eisen- und Stahl</i> | | | | | |
| Sinterproduktion | [g I-TE/a] | 27,3 | 41,5 | 56,3 | 39,3 |
| Oxygenstahlproduktion | [g I-TE/a] | 1,6 | 3,2 | 4,8 | 11,9 |
| Elektrostahlherstellung | [g I-TE/a] | 3,6 | 7,1 | 10,7 | |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [g I-TE/a] | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 0,1 |
| Roheisenproduktion | [g I-TE/a] | 0,2 | 0,5 | 0,7 | |
| <i>NE-Metalle</i> | | | | | |
| Hüttenaluminium | [g I-TE/a] | | | | 2,3 |
| Sekundäraluminium | [g I-TE/a] | 0,2 | 0,3 | 0,5 | |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | [g I-TE/a] | 0,001 | 0,003 | 0,004 | |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | | 0,9 | 1,8 | 2,8 | |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | [g I-TE/a] | | | | |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Zink (primäre Vorstoffe) | [g I-TE/a] | | | | |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | | | | | |
| Umschmelzzink | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,03 | 0,05 | |
| Wälzrohrzink | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,03 | 0,04 | |
| B(a)P | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 143 | 286 | 430 | 61,5 |
| <i>Eisen- und Stahl</i> | | | | | |
| Sinterproduktion | [kg/a] | 13,8 | 27,7 | 41,9 | 1,6 E -5 |
| Oxygenstahlproduktion | [kg/a] | | | | 0,2 |
| Elektrostahlherstellung | [kg/a] | 71,1 | 142 | 213 | |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [kg/a] | 19,3 | 38,6 | 57,8 | 54,6 |
| Roheisenproduktion | [kg/a] | 37,7 | 75,0 | 113 | |
| <i>NE-Metalle</i> | | | | | |
| Hüttenaluminium | [kg/a] | 1,3 | 2,7 | 4 | 6,7 |
| PAH | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 1004 | 2023 | 3051 | 44,1 |
| <i>Eisen- und Stahl</i> | | | | | |
| Sinterproduktion | [kg/a] | 477 | 967 | 1470 | |
| Oxygenstahlproduktion | [kg/a] | 1,9 | 3,9 | 5,8 | 1,1 |
| Elektrostahlherstellung | [kg/a] | 306 | 612 | 916 | |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | [kg/a] | 193 | 386 | 579 | 4,1 |
| <i>NE-Metalle</i> | | | | | |
| Hüttenaluminium | [kg/a] | 27 | 54 | 80 | 38,9 |
| HCB | | | | | |
| <i>NE-Metalle</i> | [kg/a] | | | | 0,034 |
| PCB | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 22,9 | 38,1 | 53,4 | 0,134 |
| <i>Eisen- und Stahl</i> | | | | | |
| Sinterproduktion | [kg/a] | 12,2 | 16,6 | 21,2 | 0,006 |
| Oxygenstahlproduktion | [kg/a] | 0,06 | 0,12 | 0,17 | |
| Elektrostahl | [kg/a] | 10,7 | 21,4 | 32,1 | |
| <i>NE-Metalle</i> | | | | | |
| | [kg/a] | | | | 0,128 |

Die berechneten PCDD/PCDF-Emissionen stimmen gut mit den berichteten Emissionen überein. Etwa 75% der berechneten PCDD/PCDF-Emissionen stammen von Sinteranlagen, ca. 13% von Elektrostahlwerken und ca. 6% von der Oxygenstahlproduktion.

Bei den berechneten B(a)P-Emissionen dominieren mit ca. 50% die Elektrostahlwerke, gefolgt von der Roheisenproduktion (ca. 26%) und den Eisen- und Stahlgießereien (ca. 14%). Die Sinteranlagen tragen mit ca. 10% zu den berechneten B(a)P-Gesamtemissionen der Metallindustrie bei.

Die in den WW 2004 berichteten B(a)P-Emissionen beziehen sich fast ausschließlich auf die Eisen- und Stahlgießereien, wobei einzelne Anlagen dominieren.

Hauptemittent der berechneten PAH-Emissionen ist mit ca. 48% die Sinterproduktion, gefolgt von den Elektrostahlwerken (ca. 30%) und den Eisen- und Stahlgießereien (ca. 19%).

3.4.2. Bottom-Up-Ansatz zur PCDD/PCDF-Emissionsberechnung von Sinteranlagen

In [21, S. 15] sind für das Jahr 2002 7 Betreiber von Sinteranlagen mit insgesamt 10 Sinterbändern (5 in NW, 2 im SL, 1 in HB, 1 in NI, 1 in BB) angegeben, mit einer jährlichen Produktion von insgesamt 28,5 Mio. t Sinter (vgl. Tabelle 12) und einem Abgasvolumenstrom von insgesamt 11,8 Mio. m³/h. Bei Berechnung der PCDD/PCDF-Jahresfracht über den für Sinteranlagen einzuhaltenden Grenzwert von 0,4 ng TEQ/m³ [42, S. 69] und einer angenommenen Betriebsdauer von 8.000 h (vgl. [21, S. 15] je Anlage und Jahr, ergeben sich ca. 38 g I-TEQ/a für diese 10 Sinteranlagen, im Vergleich zu den in Kapitel 3.4.1 berechneten 41,5 g I-TEQ/a.

In den Emissionserklärungen sind die Emissionen zu 6 der o.g. 7 Betreiber angegeben mit insgesamt 39,3 g I-TE. Nicht aufgeführt in den Emissionserklärungen ist die Anlage in Brandenburg. Bei Nachberechnung der Emissionen dieser Anlage ergibt sich eine Gesamtsumme von ca. 43 g I-TE/a über den Bottom-Up-Ansatz im Vergleich zu knapp 42 g I-TE/a aus dem Top-Down-Ansatz (vgl. Kapitel 3.4.1).

Die Nachberechnung der Emission erfolgte über die Produktionsmenge des Jahres 2002 [21, S. 15] sowie den ermittelten EF von 1,5 µg I-TE/t (vgl. Tabelle 13).

Die Auswertung der Emissionserklärungen ergab, dass 4 der aufgeführten Sinteranlagen Abgaskonzentrationen deutlich über dem Grenzwert von 0,4 ng/m³ angeben, woraus sich ein deutliches PCDD/PCDF-Minderungspotential ergibt.

3.4.3. Bottom-Up-Ansatz zur PCDD/PCDF-Emissionsberechnung von Elektrostahlwerken

Aufgrund der Zusammenfassung der Elektro- und Aufblasstahlwerke unter den BImSchV Nr. 0302B1 und 0302.2 ist eine separate Betrachtung der Emissionen der Elektrostahlherstellung über die Auswertung der EE 2004 nicht möglich. Auf Grund dessen wird versucht, über einen Bottom-Up-Ansatz eine Überprüfung der in Tabelle 14 aufgeführten Emissionen (Top-Down-Ansatz) zu erhalten.

Nach dem Verein deutscher Eisenhüttenleute VDEh ([69]) sind in Deutschland 20 bedeutende Standorte der Elektrostahlherstellung zu finden, davon 4 in NW, 1 in RP, 2 im SL, 1 in BW, 1 in BY, 1 in HE, 1 in TH, 3 in NI, 1 in HH, 3 in SN, 2 in BB. Für diese 20 Standorte wird die Bottom-Up Berechnung durchgeführt.

Die jährliche Produktion an Elektrostahl beläuft sich nach [69] für das Jahr 2004 auf 14,2 Mio. t und entspricht damit der AR im ZSE (vgl. Tabelle 12)

Über die Angaben der Kapazitäten und Bezeichnungen in den EE 2004 wurde eine Zuordnung der Anlagen aus den EE 2004 zu den Standorten aus der Literatur durchgeführt. 14 Anlagen aus den EE 2004 konnten zugeordnet werden, wobei zu neun Anlagen Angaben zu den PCDD/PCDF-Emissionen vorhanden sind. Die Emissionen der übrigen Anlagen aus den EE 2004 sowie der übrigen Standorte aus der Literatur wurde über Kapazitätsangaben und den ermittelten EF von 0,5 µg I-TE/t (siehe Tabelle 13) nachberechnet.

Die Kapazitäten für das Jahr 2004 wurden, soweit vorhanden, den EE 2004 und in allen übrigen Fällen der Literatur ([69]) entnommen.

Die berichteten und nachberechneten Emissionen der Elektrostahlwerke und deren Summe können Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 15: Berichtete und nachberechnete Emissionen der Elektrostahlproduktion.

| EE 2004 - Jahresfracht [g I-TE/a] | Nachberechnet [g I-TE/a] | Elektrostahlwerke gesamt [g I-TE/a] |
|--------------------------------------|-----------------------------|--|
| 3,5 | 3,6 | 7,1 |

Die Summe der Jahresfrachten berichteter und nachberechneter Emissionen der Elektrostahlherstellung entspricht dem Mittelwert aus dem Top-Down-Ansatz (vgl. Tabelle 14).

3.5. Feuerungsanlagen

Der Sektor Feuerungsanlagen umfasst alle Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Raffinerieprozessfeuerungen und wird unterteilt in die Unterkategorien Großfeuerungsanlagen (GFA), TA-Luft Feuerungsanlagen (1-50 MW Feuerungswärmeleistung für feste Brennstoffe) und die Gruppe der Gasturbinen, Gasmaschinen und Dieselmotoren.

3.5.1 Top-Down Emissionsberechnung

Die Aktivitätsraten für die Feuerungsanlagen stammen zum Großteil aus dem ZSE [62] und werden mit einer Abweichung von +/- 1% und einer Normalverteilung versehen (Tabelle 16). Einzige Ausnahme stellen die im ZSE nicht erfassten Aktivitätsraten für Holzbrennstoffe (naturbelassenes Holz sowie Altholz/Restholz), Pflanzenöl und Biogas in Biomasseanlagen zur Stromerzeugung bzw. gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung dar. Im ZSE werden lediglich die Holzaktivitäten der Wärmeerzeugung in TA Luft-Anlagen der Landwirtschaft und Gärtnereien (432 TJ/a) sowie der Wärmeerzeugung in TA Luft-Anlagen der übrigen Kleinverbraucher (165 TJ/a) erfasst. Aktivitäten für Pflanzenöl und Biogas werden dort nicht erfasst. Die genannten Aktivitätsraten werden der Literatur ([54]) entnommen und sind in Tabelle 16 kursiv gedruckt. Ihre Streuung wird auf +/- 10% festgesetzt und eine Normalverteilung der Werte wird angenommen. Nach [54] wurden im Jahr 2004 etwa 4,7 Mio. t Holz (etwa 70.500 TJ) zur Strom- bzw. gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. 47% (etwa 2,2 Mio. t bzw. 33.000 TJ) davon entfallen auf naturbelassene Hölzer und Althölzer bis A II (vgl. [43]) und die restlichen 53% (2,5 Mio. t bzw. 37.500 TJ) auf Althölzer bis A IV (vgl. [43]). Zur Stromerzeugung aus flüssigen Energieträgern wurden im Jahr 2004 durchschnittlich etwa 23.000 t Pflanzenöl (851 TJ) in Biomasseanlagen eingesetzt.

Die Heizwerte zur Umrechnung der Brennstoffmengen in t in Energiegehalte in TJ können Tabelle 4 entnommen werden.

Der Einsatz gasförmiger Bioenergieträger belief sich 2004 auf etwa 550 Mio. m³ Biogas. Der Energiegehalt von 1 m³ Methan liegt bei ca. 10 kWh und der Methangehalt von Biogas liegt zwischen 50 bis 75 %. Daraus ergibt sich ein mittlerer Energiegehalt von Biogas von 6 kWh/m³ (vgl. [15]) und somit eine Aktivitätsrate von etwa 12.000 TJ.

Tabelle 16: Wertebereich der Aktivitätsraten der Feuerungsanlagen.

| Brennstoff | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---|---------|-----------|--------------|-----------|------------|
| GFA | | | | | |
| Andere Mineraloelprodukte | [TJ/a] | 22.723 | 22.953 | 23.182 | normal |
| Braunkohlenkoks | [TJ/a] | 1.411 | 1.425 | 1.440 | normal |
| Erdgas | [TJ/a] | 305.278 | 308.362 | 311.445 | normal |
| Fluessiggas | [TJ/a] | 13.752 | 13.891 | 14.030 | normal |
| Gichtgas | [TJ/a] | 123.185 | 124.429 | 125.674 | normal |
| Grubengas | [TJ/a] | 3.238 | 3.270 | 3.303 | normal |
| Hartbraunkohle | [TJ/a] | 39.642 | 40.042 | 40.443 | normal |
| Heizöl, leicht | [TJ/a] | 12.158 | 12.281 | 12.403 | normal |
| Heizöl, schwer | [TJ/a] | 128.236 | 129.531 | 130.826 | normal |
| Kokerei-/Stadtgas | [TJ/a] | 49.951 | 50.456 | 50.960 | normal |
| Petrolkoks | [TJ/a] | 19.910 | 20.111 | 20.312 | normal |
| Raffineriegas | [TJ/a] | 149.248 | 150.755 | 152.263 | normal |
| Rohbenzin | [TJ/a] | 16 | 16 | 16 | normal |
| Rohbraunkohle | [TJ/a] | 1.529.207 | 1.544.654 | 1.560.100 | normal |
| Staub-/Trockenkohle | [TJ/a] | 10.705 | 10.813 | 10.921 | normal |
| Steinkohle | [TJ/a] | 1.362.170 | 1.375.930 | 1.389.689 | normal |
| TA Luft Anlagen | | | | | |
| Andere Mineralölprodukte | [TJ/a] | 1.440 | 1454 | 1.469 | normal |
| Braunkohlenbriketts | [TJ/a] | 7.996 | 8077 | 8.158 | normal |
| Brennholz (naturbelassen + Restholz) | [TJ/a] | 582 | 588 | 594 | normal |
| Erdgas | [TJ/a] | 223.127 | 225.381 | 227.635 | normal |
| Grubengas | [TJ/a] | 2.193 | 2.215 | 2.237 | normal |
| Hartbraunkohle | [TJ/a] | 312 | 315 | 318 | normal |
| Heizöl EL | [TJ/a] | 84.079 | 84.928 | 85.778 | normal |
| Heizöl schwer | [TJ/a] | 17.543 | 17720 | 17.898 | normal |
| Klärgas | [TJ/a] | 15.731 | 15.890 | 16.049 | normal |
| Kokerei-/Stadtgas | [TJ/a] | 3.713 | 3.750 | 3.788 | normal |
| Raffineriegas | [TJ/a] | 2.543 | 2.569 | 2.594 | normal |
| Rohbraunkohle | [TJ/a] | 15.572 | 15.729 | 15.886 | normal |
| Staub-/Trockenkohle | [TJ/a] | 12.306 | 12430 | 12.554 | normal |
| Steinkohle | [TJ/a] | 36.265 | 36632 | 36.998 | normal |
| Steinkohlenkoks | [TJ/a] | 4.405 | 4.449 | 4.494 | normal |
| Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | [TJ/a] | 63.450 | 70.500 | 77.550 | normal |
| Pflanzenöl | [TJ/a] | 766 | 851 | 936 | normal |
| Biogas | [TJ/a] | 10.800 | 12.000 | 13.200 | normal |
| Gasturbinen und Verbrennungsmotoren | | | | | |
| Deponiegas | [TJ/a] | 1.226 | 1.238 | 1.250 | normal |
| Dieselmotoren | [TJ/a] | 741 | 748 | 756 | normal |
| Erdgas | [TJ/a] | 384.268 | 388.150 | 392.031 | normal |
| Heizöl EL | [TJ/a] | 20.698 | 20.907 | 21.116 | normal |
| Klärgas | [TJ/a] | 247 | 249 | 251 | normal |

In die Literaturstudie sind Angaben zu Emissionsfaktoren aus 8 Literaturquellen eingegangen ([64], [27], [12], [29], [59], [47], [23], [18]). Im Falle der Übermittlung der gehandhabten Stoffe

konnten die Emissionsfaktoren brennstoffbezogen aus den Emissionserklärungen abgeleitet und zusammen mit den Emissionsfaktoren der Literaturstudie ausgewertet werden. Die Kenngrößen zur Ableitung der Berichtswerte können Tabelle 89, Tabelle 90 und Tabelle 91 entnommen werden.

Es wird generell der Emissionsfaktor für Erdgas auch allen anderen gasförmigen Brennstoffen zugewiesen (Flüssiggas, Gichtgas, Grubengas, Kokerei-/Stadtgas, Raffineriegas, Klärgas, Biogas). Für Dieselmotoren und Pflanzenöl wird der Emissionsfaktor von Heizöl EL verwendet. Die Brennstoffe „Andere Mineralölprodukte“ sowie Petrolkoks erhalten den Emissionsfaktor von schwerem Heizöl. Braunkohlenkoks, Hartbraunkohle und Rohbraunkohle werden allgemein zu Braunkohle und Steinkohle, Staub-/Trockenkohle und Steinkohlenkoks allgemein zu Steinkohle zusammengefasst.

Für die Emissionsfaktoren der gasförmigen Brennstoffe wird keine Unterscheidung zwischen GFA, TA Luft Anlagen und Gasturbinen und Motoren getroffen. Die Emissionsfaktoren für gasförmige Brennstoffe werden mit einer rechtsschiefen Lognormalverteilung mit +20% und -10% Abweichung belegt.

Bei den Emissionsfaktoren für flüssige Brennstoffe wird zwischen Heizöl EL und schwerem Heizöl unterschieden. Diese Emissionsfaktoren werden ebenfalls mit einer rechtsschiefen Lognormalverteilung mit +20% und -10% Abweichung belegt. Der PCDD/PCDF-Berichtswert entspricht dem Emissionsfaktor des Emissionsfaktoren-Handbuches der Länder [59] und ist für GFA, TA Luft Anlagen und Motoren identisch. Für den B(a)P-Berichtswert für schweres Heizöl wird der Emissionsfaktor des Emissionsfaktoren-Handbuchs mit einer Minderung von 90% verwendet. Für PAH wird für schweres Heizöl näherungsweise der ungeminderte Emissionsfaktor von Heizöl EL herangezogen.

Für Feuerungen mit festen Brennstoffen wird eine rechtsschiefe Dreiecksverteilung unter Berücksichtigung verschiedener Abscheidegrade festgelegt. Bei Steinkohlefeuerungen in GFA entsprechen die PCDD/PCDF- und B(a)P-Berichtswerte den Emissionsfaktoren des Emissionsfaktoren-Handbuchs mit einem Abscheidegrad von 99%, die Min-Werte beinhalten einen Abscheidegrad von 99,5% und die Max-Werte von 97,5% [59]. Für Braunkohlefeuerungen in GFA konnte im Vergleich zu Steinkohlefeuerungen ein um den Faktor 10 kleinerer PCDD/PCDF-Emissionsfaktor ermittelt werden, für B(a)P wird hingegen der Emissionsfaktor von Steinkohle verwendet. Für PAH wird zu dem ermittelten Berichtswert ein Bereich in Anlehnung an PCDD/PCDF und B(a)P geschätzt.

Bei Steinkohlefeuerungen in TA Luft Anlagen entsprechen die PCDD/PCDF- und B(a)P-Berichtswerte ebenfalls den Emissionsfaktoren des Emissionsfaktoren-Handbuchs, allerdings mit einem Abscheidegrad von 95%. Die Min-Werte beinhalten einen Abscheidegrad von 97,5% und die Max-Werte von 90% [59]. Diese Emissionsfaktoren werden auch auf Braunkohlefeuerungen übertragen. Die PAH-Emissionsfaktoren beruhen nur auf einer Literaturquelle, wobei ein Abscheidegrad von 90% unterstellt wird. Der Bereich wird ebenfalls in Anlehnung an PCDD/PCDF und B(a)P geschätzt, so dass die Literaturwerte als Min-Werte in den Bereich eingehen.

Der Brennstoff Holz wird nur in TA Luft Anlagen in Form von naturbelassenem Brennholz und Resthölzern verfeuert. Den PCDD/PCDF- B(a)P- und PAH-Berichtswerten wird ein Abscheidegrad von 95% unterstellt. Die Min-Werte entsprechen einem Abscheidegrad von 97,5% und die Max-Werte einem Abscheidegrad von 90% [59]. Die Verteilung wird als triangular angenommen

Die ermittelten PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren sind für GFA in Tabelle 17, für TA Luft Anlagen in Tabelle 18 und für Gasturbinen und Motoren in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 17: Bereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Andere Mineralölprodukte | µg I-TE/TJ | 2,4 | 2,5 | 2,8 | lognormal |
| Braunkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 0,10 | 0,20 | 0,50 | triangular |
| Erdgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Flüssiggas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Gichtgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Grubengas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Hartbraunkohle | µg I-TE/TJ | 0,10 | 0,20 | 0,50 | lognormal |
| Heizöl EL | µg I-TE/TJ | 0,45 | 0,50 | 0,60 | lognormal |
| Heizöl schwer | µg I-TE/TJ | 2,4 | 2,5 | 2,8 | lognormal |
| Kokerei-/Stadtgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Petrolkoks | µg I-TE/TJ | 2,4 | 2,5 | 2,8 | lognormal |
| Raffineriegas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Rohbenzin | µg I-TE/TJ | 0,45 | 0,50 | 0,60 | lognormal |
| Rohbraunkohle | µg I-TE/TJ | 0,10 | 0,20 | 0,50 | triangular |
| Staub-/Trockenkohle | µg I-TE/TJ | 1,0 | 2,0 | 5,0 | triangular |
| Steinkohle | µg I-TE/TJ | 1,0 | 2,0 | 5,0 | triangular |

Tabelle 18: Bereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für TA-Luft Anlagen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Andere Mineralölprodukte | µg I-TE/TJ | 2,3 | 2,5 | 3,0 | lognormal |
| Braunkohlenbriketts | µg I-TE/TJ | 5,0 | 10,0 | 20,0 | triangular |
| Brennholz (naturbelassen + Restholz) | µg I-TE/TJ | 10,0 | 20,0 | 40,0 | triangular |
| Erdgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Grubengas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Hartbraunkohle | µg I-TE/TJ | 5,0 | 10,0 | 20,0 | triangular |
| Heizöl EL | µg I-TE/TJ | 0,45 | 0,50 | 0,60 | lognormal |
| Heizöl schwer | µg I-TE/TJ | 2,3 | 2,5 | 3,0 | lognormal |
| Klärgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Kokerei-/Stadtgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Raffineriegas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Rohbraunkohle | µg I-TE/TJ | 5,0 | 10,0 | 20,0 | triangular |
| Staub-/Trockenkohle | µg I-TE/TJ | 5,0 | 10,0 | 20,0 | triangular |
| Steinkohle | µg I-TE/TJ | 5,0 | 10,0 | 20,0 | triangular |
| Steinkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 5,0 | 10,0 | 20,0 | triangular |
| Pflanzenöl | [TJ/a] | 0,45 | 0,50 | 0,60 | lognormal |
| Biogas | [TJ/a] | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |

Tabelle 19: Bereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Gasturbinen und Verbrennungsmotoren.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Deponiegas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Dieselmotoren | µg I-TE/TJ | 0,45 | 0,50 | 0,60 | lognormal |
| Erdgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |
| Heizöl EL | µg I-TE/TJ | 0,45 | 0,50 | 0,60 | lognormal |
| Klärgas | µg I-TE/TJ | 0,18 | 0,20 | 0,24 | lognormal |

Die ermittelten B(a)P-Emissionsfaktoren sind für GFA in

Tabelle 20, für TA Luft Anlagen in Tabelle 21 und für Gasturbinen und Motoren in Tabelle 22 aufgeführt.

Tabelle 20: Bereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Andere Mineralölprodukte | mg/TJ | 50,4 | 56,0 | 67,2 | lognormal |
| Braunkohlenkoks | mg/TJ | 7,0 | 14,0 | 35,0 | triangular |
| Erdgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Flüssiggas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Gichtgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Grubengas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Hartbraunkohle | mg/TJ | 7,0 | 14,0 | 35,0 | triangular |
| Heizöl EL | mg/TJ | 423,0 | 470,0 | 564,0 | lognormal |
| Heizöl schwer | mg/TJ | 50,4 | 56,0 | 67,2 | lognormal |
| Kokerei-/Stadtgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Petrolkoks | mg/TJ | 53,2 | 56,0 | 61,6 | lognormal |
| Raffineriegas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Rohbenzin | mg/TJ | 50,4 | 56,0 | 67,2 | lognormal |
| Rohbraunkohle | mg/TJ | 7,0 | 14,0 | 35,0 | triangular |
| Staub-/Trockenkohle | mg/TJ | 7,0 | 14,0 | 35,0 | triangular |
| Steinkohle | mg/TJ | 7,0 | 14,0 | 35,0 | triangular |

Tabelle 21: Bereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für TA-Luft Anlagen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-------------------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Andere Mineralölprodukte | mg/TJ | 50,4 | 56,0 | 67,2 | lognormal |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 35,0 | 70,0 | 140,0 | triangular |
| Brennholz, naturbelassen + Restholz | mg/TJ | 185,0 | 370,0 | 740,0 | triangular |
| Erdgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Grubengas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Hartbraunkohle | mg/TJ | 35,0 | 70,0 | 140,0 | triangular |
| Heizöl EL | mg/TJ | 423,0 | 470,0 | 564,0 | lognormal |
| Heizöl schwer | mg/TJ | 50,4 | 56,0 | 67,2 | lognormal |
| Klärgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Kokerei-/Stadtgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Raffineriegas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Rohbraunkohle | mg/TJ | 35,0 | 70,0 | 140,0 | triangular |
| Staub-/Trockenkohle | mg/TJ | 35,0 | 70,0 | 140,0 | triangular |
| Steinkohle | mg/TJ | 35,0 | 70,0 | 140,0 | triangular |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 35,0 | 70,0 | 140,0 | triangular |
| Pflanzenöl | mg/TJ | 185,0 | 370,0 | 740,0 | triangular |
| Biogas | mg/TJ | 423,0 | 470,0 | 564,0 | lognormal |

Tabelle 22: Bereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für Gasturbinen und Verbrennungsmotoren.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Deponiegas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Dieselmotoren | mg/TJ | 423,0 | 470,0 | 564,0 | lognormal |
| Erdgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |
| Heizöl EL | mg/TJ | 423,0 | 470,0 | 564,0 | lognormal |
| Klärgas | mg/TJ | 0,9 | 1,0 | 1,2 | lognormal |

Die ermittelten PAH -Emissionsfaktoren sind für GFA in Tabelle 23, für TA Luft Anlagen in Tabelle 24 und für Gasturbinen und Motoren in Tabelle 25 aufgeführt.

Tabelle 23: Bereich der PAH-Emissionsfaktoren für Großfeuerungsanlagen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------|---------|------|--------------|------|------------|
| Andere Mineralölprodukte | mg/TJ | 252 | 280 | 336 | lognormal |
| Braunkohlenkoks | mg/TJ | 45 | 90 | 225 | triangular |
| Erdgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Flüssiggas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Gichtgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Grubengas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Hartbraunkohle | mg/TJ | 85,5 | 90 | 99,0 | lognormal |
| Heizöl EL | mg/TJ | 2520 | 2800 | 3360 | lognormal |
| Heizöl schwer | mg/TJ | 252 | 280 | 336 | lognormal |
| Kokerei-/Stadtgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Petrolkoks | mg/TJ | 252 | 280 | 336 | lognormal |
| Raffineriegas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Rohbenzin | mg/TJ | 252 | 280 | 336 | lognormal |
| Rohbraunkohle | mg/TJ | 45 | 90 | 225 | triangular |
| Staub-/Trockenkohle | mg/TJ | 45 | 90 | 225 | triangular |
| Steinkohle | mg/TJ | 20 | 40 | 100 | triangular |

Tabelle 24: Bereich der PAH-Emissionsfaktoren für TA-Luft Anlagen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------------------|---------|-------|--------------|-------|------------|
| Andere Mineralölprodukte | mg/TJ | 342 | 380 | 456 | lognormal |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 7500 | 15000 | 30000 | triangular |
| Brennholz (naturbelassen + Restholz) | mg/TJ | 10000 | 20000 | 40000 | triangular |
| Erdgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Grubengas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Hartbraunkohle | mg/TJ | 7500 | 15000 | 30000 | triangular |
| Heizöl EL | mg/TJ | 3420 | 3800 | 4560 | lognormal |
| Heizöl schwer | mg/TJ | 342 | 380 | 456 | lognormal |
| Klärgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Kokerei-/Stadtgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Raffineriegas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Rohbraunkohle | mg/TJ | 7500 | 15000 | 30000 | triangular |
| Staub-/Trockenkohle | mg/TJ | 7500 | 15000 | 30000 | triangular |
| Steinkohle | mg/TJ | 7500 | 15000 | 30000 | triangular |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 7500 | 15000 | 30000 | triangular |
| Pflanzenöl | mg/TJ | 10000 | 20000 | 40000 | triangular |
| Biogas | mg/TJ | 3420 | 3800 | 4560 | lognormal |

Tabelle 25: Bereich der PAH-Emissionsfaktoren für Gasturbinen und Verbrennungsmotoren.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------|---------|------|--------------|------|------------|
| Deponiegas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Dieselmotoren | mg/TJ | 2520 | 2800 | 3360 | lognormal |
| Erdgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |
| Heizöl EL | mg/TJ | 2520 | 2800 | 3360 | lognormal |
| Klärgas | mg/TJ | 2,5 | 2,8 | 3,4 | lognormal |

Die berechneten PCDD/PCDF-Emissionen der Feuerungsanlagen sind in Tabelle 26, die B(a)P-Emissionen in Tabelle 27 und die PAH-Emissionen in Tabelle 28 dargestellt. Die kursiv gedruckten Emissionen basieren auf AR, welche nicht aus dem ZSE [62] stammen (siehe oben). In **Tabelle 26**, **Tabelle 27** und **Tabelle 28** sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der Feuerungsanlagen unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 26: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PCDD/PCDF-Emissionen und berichtete Emissionen der Feuerungsanlagen.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|--|-------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------------|
| Gesamt | [g I-TE/a] | 4,1 | 7,5 | 11,8 | Ca. 2,5¹⁵ |
| GFA | [g I-TE/a] | | 4,7 | | Ca. 2¹⁵ |
| Andere Mineralölprodukte | [g I-TE/a] | 0,05 | 0,06 | 0,07 | |
| Braunkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,0002 | 0,0004 | 0,0006 | |
| Erdgas | [g I-TE/a] | 0,05 | 0,06 | 0,08 | |
| Flüssiggas | [g I-TE/a] | 0,002 | 0,003 | 0,004 | |
| Gichtgas | [g I-TE/a] | 0,02 | 0,03 | 0,03 | |
| Grubengas | [g I-TE/a] | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| Hartbraunkohle | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,02 | |
| Heizöl EL | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Heizöl schwer | [g I-TE/a] | 0,30 | 0,33 | 0,37 | |
| Kokerei-/Stadtgas | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Petrolkoks | [g I-TE/a] | 0,05 | 0,05 | 0,06 | |
| Raffineriegas | [g I-TE/a] | 0,03 | 0,03 | 0,04 | |
| Rohbenzin | [g I-TE/a] | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 | |
| Rohbraunkohle | [g I-TE/a] | 0,20 | 0,41 | 0,69 | |
| Staub-/Trockenkohle | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,03 | 0,05 | |
| Steinkohle | [g I-TE/a] | 1,81 | 3,67 | 6,12 | |
| TA Luft | [g I-TE/a] | | 2,7 | | 0,5¹⁶ |
| Andere Mineralölprodukte | [g I-TE/a] | 0,003 | 0,004 | 0,005 | |
| Braunkohlenbriketts | [g I-TE/a] | 0,05 | 0,09 | 0,15 | |
| Holz (naturbelassen + Restholz) | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,02 | |
| Erdgas | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,05 | 0,06 | |
| Grubengas | [g I-TE/a] | 0,0004 | 0,0005 | 0,0006 | |
| Hartbraunkohle | [g I-TE/a] | 0,002 | 0,004 | 0,006 | |
| Heizöl EL | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,04 | 0,05 | |
| Heizöl schwer | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,05 | 0,06 | |
| Klärgas | [g I-TE/a] | 0,003 | 0,003 | 0,004 | |
| Kokerei-/Stadtgas | [g I-TE/a] | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| Raffineriegas | [g I-TE/a] | 0,0004 | 0,001 | 0,001 | |
| Rohbraunkohle | [g I-TE/a] | 0,10 | 0,18 | 0,28 | |
| Staub-/Trockenkohle | [g I-TE/a] | 0,08 | 0,15 | 0,22 | |
| Steinkohle | [g I-TE/a] | 0,23 | 0,43 | 0,66 | |
| Steinkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,03 | 0,05 | 0,08 | |
| <i>Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz)</i> | <i>[g I-TE/a]</i> | <i>0,89</i> | <i>1,64</i> | <i>2,57</i> | |
| <i>Pflanzenöl</i> | <i>[g I-TE/a]</i> | <i>0,0004</i> | <i>0,0004</i> | <i>0,0006</i> | |
| <i>Biogas</i> | <i>[g I-TE/a]</i> | <i>0,002</i> | <i>0,003</i> | <i>0,003</i> | |
| Gasturbinen/Motoren | [g I-TE/a] | | 0,1 | | 4E-5¹⁶ |
| Deponiegas | [g I-TE/a] | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | |
| Dieselmotoren | [g I-TE/a] | 0,0003 | 0,0004 | 0,0005 | |

¹⁵ unkorrigierter Wert; Korrektur für GFA: vgl. „Bottom-Up Berechnung“ Tabelle 25

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|-----------|------------|----------------|------------|-----------------|---------|
| Erdgas | [g I-TE/a] | 0,07 | 0,08 | 0,10 | |
| Heizöl EL | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Klärgas | [g I-TE/a] | 0,00004 | 0,00005 | 0,00006 | |

Die Steinkohlefeuerungen der GFA dominieren mit knapp 50 % neben den Holzfeuerungen in den Biomasseanlagen mit ca. 22 % die berechneten PCDD/PCDF-Emissionen der Feuerungsanlagen. Die berechneten PCDD/PCDF-Frachten übersteigen erwartungsgemäß die in den EE 2004 berichteten Frachten (vgl. Kapitel 3). Für die Großfeuerungsanlagen wird in Kapitel 3.5.2 exemplarisch eine Nachberechnung der PCDD/PCDF-Emissionen der EE 2004 durchgeführt.

Tabelle 27: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten B(a)P-Emissionen und berichtete Emissionen der Feuerungsanlagen.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|---|---------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| Gesamt | [kg/a] | 105,3 | 163,7 | 237 | 173¹⁶ |
| GFA | [kg/a] | | 72,2 | | 77,6¹⁶ |
| Andere Mineralölprodukte | [kg/a] | 1,1 | 1,3 | 1,6 | |
| Braunkohlenkoks | [kg/a] | 0,01 | 0,03 | 0,04 | |
| Erdgas | [kg/a] | 0,3 | 0,3 | 0,4 | |
| Flüssiggas | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Gichtgas | [kg/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Grubengas | [kg/a] | 0,003 | 0,003 | 0,004 | |
| Hartbraunkohle | [kg/a] | 0,4 | 0,7 | 1,2 | |
| Heizöl EL | [kg/a] | 4,9 | 6,0 | 7,3 | |
| Heizöl schwer | [kg/a] | 6,1 | 7,6 | 9,2 | |
| Kokerei-/Stadtgas | [kg/a] | 0,0 | 0,1 | 0,1 | |
| Petrolkoks | [kg/a] | 1,0 | 1,2 | 1,3 | |
| Raffineriegas | [kg/a] | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| Rohbenzin | [kg/a] | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| Rohbraunkohle | [kg/a] | 14,2 | 28,8 | 48,1 | |
| Staub-/Trockenkohle | [kg/a] | 0,1 | 0,2 | 0,3 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 12,7 | 25,7 | 42,9 | |
| TA Luft | [kg/a] | | 80,4 | | 89,2¹⁷ |
| Andere Mineralölprodukte | [kg/a] | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 0,4 | 0,7 | 1,0 | |
| Holz (naturbelassen + Restholz) | [kg/a] | 0,1 | 0,3 | 0,4 | |
| Erdgas | [kg/a] | 0,2 | 0,2 | 0,3 | |
| Grubengas | [kg/a] | 0,002 | 0,002 | 0,003 | |
| Hartbraunkohle | [kg/a] | 0,01 | 0,03 | 0,04 | |
| Heizöl EL | [kg/a] | 33,8 | 41,6 | 50,7 | |
| Heizöl schwer | [kg/a] | 0,8 | 1,0 | 1,3 | |
| Klärgas | [kg/a] | 0,01 | 0,02 | 0,02 | |
| Kokerei-/Stadtgas | [kg/a] | 0,003 | 0,004 | 0,005 | |
| Raffineriegas | [kg/a] | 0,002 | 0,003 | 0,003 | |
| Rohbraunkohle | [kg/a] | 0,7 | 1,3 | 2,0 | |
| Staub-/Trockenkohle | [kg/a] | 0,6 | 1,0 | 1,6 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 1,6 | 3,0 | 4,6 | |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 0,2 | 0,4 | 0,6 | |
| Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | [kg/a] | 16,5 | 30,4 | 47,5 | |
| Pflanzenöl | [kg/a] | 0,3 | 0,4 | 0,5 | |
| Biogas | [kg/a] | 0,01 | 0,01 | 0,02 | |

¹⁶unkorrigierter Wert; Korrektur für GFA: vgl. „Bottom-Up Berechnung“ Tabelle 25

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|-------------------------|---------------|----------------|-------------|-----------------|-------------------------|
| Gasturbine/Motor | [kg/a] | | 11,0 | | 6,1¹⁷ |
| Deponiegas | [kg/a] | 0,001 | 0,001 | 0,002 | |
| Dieselmotorkraftstoff | [kg/a] | 0,3 | 0,4 | 0,4 | |
| Erdgas | [kg/a] | 0,3 | 0,4 | 0,5 | |
| Heizöl EL | [kg/a] | 8,3 | 10,2 | 12,5 | |
| Klärgas | [kg/a] | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | |

Die berichteten B(a)P-Emissionen übersteigen die berechneten Emissionen. Die berechneten B(a)P-Emissionen werden in erster Linie von den Heizölf Feuerungen der TA Luft-Anlagen (ca. 25%), den Holzfeuerungen in Biomasseanlagen (ca. 19%), den Rohbraunkohlefeuerungen der GFA (ca. 18%) und den Steinkohlefeuerungen der GFA verursacht (ca. 16%).

Tabelle 28: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PAH-Emissionen und berichtete Emissionen der Feuerungsanlagen.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|---------------------------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| Gesamt | [kg/a] | 2174 | 3781 | 5738 | 16,6¹⁷ |
| GFA | [kg/a] | | 352 | | 16,0¹⁷ |
| Andere Mineralölprodukte | [kg/a] | 5,4 | 6,7 | 8,2 | |
| Braunkohlenkoks | [kg/a] | 0,1 | 0,2 | 0,3 | |
| Erdgas | [kg/a] | 0,7 | 0,9 | 1,1 | |
| Flüssiggas | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Gichtgas | [kg/a] | 0,3 | 0,4 | 0,4 | |
| Grubengas | [kg/a] | 0,004 | 0,005 | 0,006 | |
| Hartbraunkohle | [kg/a] | 3,3 | 3,7 | 4,1 | |
| Heizöl EL | [kg/a] | 29,1 | 35,8 | 43,6 | |
| Heizöl schwer | [kg/a] | 30,7 | 37,8 | 46,1 | |
| Kokerei-/Stadtgas | [kg/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Petrolkoks | [kg/a] | 4,8 | 5,9 | 7,1 | |
| Raffineriegas | [kg/a] | 0,4 | 0,4 | 0,5 | |
| Rohbenzin | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Rohbraunkohle | [kg/a] | 91,7 | 185,4 | 309,5 | |
| Staub-/Trockenkohle | [kg/a] | 0,6 | 1,3 | 2,2 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 36,2 | 73,4 | 122,6 | |
| TA Luft | [kg/a] | | 3.365 | | 0,4¹⁷ |
| Andere Mineralölprodukte | [kg/a] | 0,5 | 0,6 | 0,7 | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 77,1 | 141,3 | 219,1 | |
| Holz (naturbelassen + Restholz) | [kg/a] | 7,5 | 13,7 | 21,3 | |
| Erdgas | [kg/a] | 0,5 | 0,7 | 0,8 | |
| Grubengas | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Hartbraunkohle | [kg/a] | 3,0 | 5,5 | 8,5 | |
| Heizöl EL | [kg/a] | 273,3 | 336,3 | 409,7 | |
| Heizöl schwer | [kg/a] | 5,7 | 7,0 | 8,5 | |
| Klärgas | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,1 | |
| Kokerei-/Stadtgas | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Raffineriegas | [kg/a] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Rohbraunkohle | [kg/a] | 149,9 | 275,2 | 425,7 | |
| Staub-/Trockenkohle | [kg/a] | 118,7 | 217,4 | 336,9 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 349,1 | 641,2 | 993,1 | |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 42,5 | 77,9 | 120,6 | |

¹⁷unkorrigierter Wert; Korrektur GFA: vgl. „Bottom-Up Berechnung“ Tabelle 25

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|---|---------------|----------------|-------------|-----------------|-------------------------|
| Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | [kg/a] | 887,8 | 1644,9 | 2564,5 | |
| Pflanzenöl | [kg/a] | 2,7 | 3,4 | 4,2 | |
| Biogas | [kg/a] | 0,03 | 0,04 | 0,04 | |
| Gasturbine/Motor | [kg/a] | | 64,3 | | 0,2¹⁷ |
| Deponiegas | [kg/a] | 0,003 | 0,004 | 0,004 | |
| Dieselmotorkraftstoff | [kg/a] | 1,8 | 2,2 | 2,7 | |
| Erdgas | [kg/a] | 0,9 | 1,1 | 1,4 | |
| Heizöl EL | [kg/a] | 49,5 | 61,0 | 74,4 | |
| Klärgas | [kg/a] | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |

Die berichteten PAH-Emissionen unterschreiten die berichteten B(a)P-Emissionen. Den höchsten Beitrag zu den berechneten PAH-Emissionen leisten die Holzfeuerungen in Biomasseanlagen (ca. 44%), gefolgt von den Steinkohlefeuerungen der TA Luft-Anlagen (17%) und den Feuerungen mit Heizöl EL in TA Luft-Anlagen (ca. 9%).

3.5.2 Nachberechnung von Emissionen der GFA aus den Datensätzen der Emissionserklärungen

Nicht zu allen Massenströmen der Emissionserklärungen werden auch Emissionen angegeben. Für die GFA wurde daher exemplarisch eine Nachberechnung von Emissionen durchgeführt. Die in A 1 beschriebene Auswertung der Datensätze der Emissionserklärungen wurde dahingehend erweitert, die Massenströme (Aktivitätsraten), zu welchen die Angaben der Schadstofffrachten fehlen für die verschiedenen Brennstoffe zu ermitteln. Aus diesen Massenströmen wird über die Multiplikation mit einem für den jeweiligen Brennstoff spezifischen EF (vgl. Kapitel 3.5.1) die Emission berechnet.

Soweit die Massenströme der eingesetzten Brennstoffe vollständig angegeben sind, ergibt sich zusammen mit den in den EE 2004 angegebenen Emissionen die Gesamtsumme aller in den EE 2004 aufgeführten GFA¹⁸.

In Tabelle 29 sind die Aktivitätsraten der verschiedenen Brennstoffe aus den EE 2004 für Großfeuerungsanlagen aufgeführt sowie die Anteile der Massenströme, zu welchen Emissionen angegeben sind.

Tabelle 29: Aktivitätsraten (Massenströme) der verschiedenen Brennstoffe für Großfeuerungsanlagen sowie die Anteile der Massenströme, zu welchen Emissionen angegeben werden.

| Stoffbezeichnung | Massenströme gesamt [TJ/a] | PCDD/PCDF | B(a)P | PAH |
|------------------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| | | Massenströme mit Angabe zur Fracht [TJ/a] | Massenströme mit Angabe zur Fracht [TJ/a] | Massenströme mit Angabe zur Fracht [TJ/a] |
| Abfalle von Holz | 936 | 0 | 0 | 0 |
| Altoel | 5.977 | 284 | 0 | 0 |
| Bioabfall | 875 | 0 | 0 | 0 |
| Biogas | 437 | 19 | 19 | 0 |
| Braunkohle | 959.264 | 456.895 | 13.335 | 0 |
| Braunkohlebrikett/Staub/Teer | 18.013 | 1.073 | 987 | 0 |
| Deponiegas (4 kWh/m ³) | 27.736 | 0 | 0 | 0 |
| Dieselmotorkraftstoff | 1 | 0 | 0 | 0 |

¹⁸ Für die Bundesländer RP und BB liegen uns keine Angaben zu den gehandhabten Stoffen vor, weshalb für diese BL keine Nachberechnung der Emissionen erfolgen konnte.

| | | PCDD/PCDF | B(a)P | PAH |
|--------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| Stoffbezeichnung | Massenströme gesamt [TJ/a] | Massenströme mit Angabe zur Fracht [TJ/a] | Massenströme mit Angabe zur Fracht [TJ/a] | Massenströme mit Angabe zur Fracht [TJ/a] |
| Eichenholz | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Erdgas | 566.536 | 87.097 | 75.327 | 5.364 |
| Gichtgas + Grubengas | 615.979 | 209.072 | 1.393 | 0 |
| Heizöl EI/ Dieselöl | 8.774 | 2.049 | 1.351 | 0 |
| Heizöl, schwer | 50.495 | 150.89 | 15.297 | 228 |
| Holz | 1.848 | 1.774 | 1.482 | 0 |
| Klaergas | 34 | 0 | 0 | 0 |
| Klaerschlämme | 10.580 | 9.429 | 986 | 0 |
| Koksofengas | 15.860 | 7.360 | 0 | 0 |
| Papier | 9.536 | 9.534 | 4.944 | 0 |
| Petrolkoks | 18.984 | 10.989 | 8.110 | 0 |
| Raffineriegas | 45.290 | 2.956 | 2.956 | 0 |
| Steinkohle | 1.457.755 | 451.314 | 472.656 | 59.284 |
| Synthesegas (oxo) | 5.879 | 0 | 0 | 0 |
| sonst. Mineralölprodukte | 76.609 | 2.248 | 921 | 0 |

In Tabelle 30 sind die berichteten und nachberechneten Emissionen und deren Gesamtsumme aufgeführt.

Tabelle 30: Berichtete und nachberechnete Jahresfrachten der GFA für PCDD/PCDF, B(a)P und PAH

| | PCDD/PCDF [g I-TE/a] | B(a)P [kg/a] | PAH [kg/a] |
|----------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|
| Summe nachberechnet | 3,3 | 41,1 | 214,5 |
| Summe berichtet | Ca. 2 | 77,6 | 16,0 |
| Gesamtsumme EE 2004 | Ca. 5,3 | 118,7 | 230,5 |

3.6. Chemische Industrie

Der Sektor der chemischen Industrie setzt sich aus allen Anlagen der 4. BImSchV-Kategorie 04, mit Ausnahme von 0407.1, zusammen (vgl. Kapitel 3.9). In Tabelle 31 sind die berichteten Emissionen aufgeführt. Eine Top-Down Berechnung von POPs-Emissionen ist aufgrund der Vielzahl der Prozesse nicht möglich.

Tabelle 31: Berichtete Emissionen der chemischen Industrie.

| Schadstoff | Einheit | EE 2004 |
|------------|------------|---------|
| PCDD/PCDF | [g I-TE/a] | 0,008 |
| HCB | [g/a] | 185,7 |
| B(a)P | [kg/a] | 2,5 |
| PAH | [kg/a] | 56,7 |

3.7. Tierkörperbeseitigungsanlagen

Nach der Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH wurden in Deutschland im Jahr 2004 ca. 2,3 Mio t tierische Nebenprodukte zu Tiermehl, Tierfett, Blutmehl u. a. verarbeitet. Diese Produkte werden als Futtermittel (30.500 t), Düngemittel (355.000 t) oder

Brennstoffsubstitut (490.000 t) verwendet. Im Jahr 2004 wurden 61.600 t von den Tierkörperbeseitigungsanlagen in Eigenverbrennung verwertet. Für diese Aktivitätsrate wird eine Abweichung von +/- 10% und eine Normalverteilung angenommen. Der Emissionsfaktor ist dem UNEP Toolkit [64] entnommen und mit einer geschätzten Abweichung von +/- 50% sowie einer Normalverteilung belegt [64, S. 58].

Tabelle 32: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktor für die Eigenverbrennung in Tierkörperbeseitigungsanlagen.

| Aktivitätsrate | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-------------------|-------------|--------|--------------|--------|------------|
| Eigenverbrennung | [t/a] | 60.953 | 61.569 | 62.185 | normal |
| Emissionsfaktoren | | | | | |
| PCDD/PCDF | [µg I-TE/t] | 2,5 | 5,0 | 7,5 | nomal |

Unter Tierkörperbeseitigungsanlagen werden Anlagen der 4. BImSchV-Kategorie 0712.1 verstanden. Die berichteten und berechneten Emissionen sind in Tabelle 33 dargestellt

Tabelle 33: Berechnete und berichtete Emissionen von Tierkörperbeseitigungsanlagen.

| Schadstoff | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|------------|------------|----------------|------------|-----------------|---------|
| PCDD/PCDF | [g I-TE/a] | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 4 E -5 |
| B(a)P | [kg/a] | | | | 0,04 |

In das Inventar werden die berechneten PCDD/PCDF-Emissionen übernommen.

3.8. Färben und Endbehandeln von Textilien und Leder

Dem Sektor Färben und Endbehandeln von Textilien und Leder wurden alle Anlagen der 4. BImSchV-Kategorie 1010 und 0714 zugeordnet. Die Emissionen sind in Tabelle 34 aufgeführt. Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren konnten nicht ermittelt werden.

Tabelle 34: Berichtete Emissionen der Textil- und Lederindustrie.

| Schadstoff | Einheit | EE 2004 |
|------------|------------|----------|
| PCDD/PCDF | [g I-TE/a] | 5,6 E -5 |
| B(a)P | [kg/a] | 0,02 |

3.9. Koks- und Anodenproduktion

In Deutschland wurden laut ZSE im Jahr 2004 186.835 t Braunkohlenkoks und 8.462.000 t Steinkohlenkoks produziert [62]. Die Aktivitätsraten der Koksproduktion werden mit einer Abweichung von +/-1% und einer Normalverteilung versehen. Die Aktivitätsrate für die Anodenproduktion kann indirekt über die Produktion von Hüttenaluminium bestimmt werden. Nach [17, S. 94] werden für jede Tonne Hüttenaluminium 0,4-0,45 t Anodenmaterial benötigt (vgl. Tabelle 12). Unter der Annahme der vollständigen Inlandsproduktion dieser Menge und eines Faktors von 0,43 ergibt sich eine Anodenproduktion von etwa 287.600 t im Jahr 2004. Diese Aktivitätsrate wird mit einer Abweichung von +/-10% und einer Normalverteilung belegt.

Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren der Steinkohlenkoksproduktion konnten zwei Literaturquellen ([64], [27]) und für die Anodenproduktion eine Quelle herangezogen werden ([27]). Die Kenngrößen zur Ableitung der Emissionsfaktoren für die Koks- und Anodenproduktion sind Tabelle 92 in Anhang A 3 zu entnehmen. Die Emissionsfaktoren der Steinkohlenkoksproduktion wurden auf die Produktion von Braunkohlenkoks übertragen und ebenso wie die EF der Anodenproduktion mit einer Normalverteilung und einer Abweichung von +/-50% belegt (Tabelle 35).

Tabelle 35: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktoren für die Koks- und Anodenproduktion.

| Aktivitätsrate | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Braunkohlenkoksproduktion | [t/a] | 184.967 | 186.835 | 188.703 | Normal |
| Steinkohlenkoksproduktion | [t/a] | 8.377.380 | 8.462.000 | 8.546.620 | Normal |
| Anodenproduktion | [t/a] | 258.839 | 287.599 | 316.358 | Normal |
| Emissionsfaktoren | | | | | |
| <i>Koksproduktion</i> | | | | | |
| PCDD/PCDF | [µg I-TE/t] | 0,1 | 0,2 | 0,3 | Normal |
| B(a)P | [mg/t] | 6,5 | 13,0 | 19,5 | Normal |
| PAH | [mg/t] | 130 | 260 | 390 | Normal |
| <i>Anodenproduktion</i> | | | | | |
| B(a)P | [mg/t] | 12,0 | 24,0 | 36,0 | Normal |
| PAH | [mg/t] | 150 | 300 | 450 | Normal |

Dem Sektor der Koks- und Anodenproduktion werden alle Anlagen der 4. BImSchV-Kategorie 0407.1 zugeordnet. Die berichteten und berechneten Emissionen sind in Tabelle 36 dargestellt. In Tabelle 36 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der Koks- und Anodenproduktion unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 36: Berichtete und berechnete Emissionen der Koks- und Anodenproduktion.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| PCDD/PCDF | | | | | |
| Gesamt | [g I-TE/a] | 0,9 | 1,7 | 2,6 | 0,0002 |
| Braunkohlekoks | [g I-TE/a] | 0,02 | 0,04 | 0,1 | |
| Steinkohlekoks | [g I-TE/a] | 0,8 | 1,7 | 2,5 | |
| B(a)P | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 60 | 119 | 179 | 129 |
| Braunkohlekoks | [kg/a] | 1,2 | 2,4 | 3,6 | |
| Steinkohlekoks | [kg/a] | 55 | 110 | 165 | |
| Anodenproduktion | [kg/a] | 3 | 7 | 10 | |
| PAH | | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 1163 | 2335 | 3505 | 1.755 |
| Braunkohlekoks | [kg/a] | 24,2 | 48,6 | 72,8 | |
| Steinkohlekoks | [kg/a] | 1096 | 2200 | 3301 | |
| Anodenproduktion | [kg/a] | 43 | 86 | 131 | |

3.10. Holzschutzmittelbehandlungsanlagen

Im Jahr 1994 wurde für Deutschland ein Kreosotverbrauch in Holzschutzmittelbehandlungsanlagen von ca. 4.440 t ausgewiesen [58, S. 175]. Aktuellere Angaben konnten nicht ermittelt werden, so dass für das Jahr 2004 ein Verbrauch von 4.000 t angenommen wird. Aufgrund der zeitlichen Distanz wird eine Abweichung von +/-10% und eine Normalverteilung hinterlegt. Die Emissionsfaktoren sind dem EMEP [12] entnommen und mit einer Abweichung von +/- 50% belegt.

Tabelle 37: Wertebereich von Aktivitätsrate und Emissionsfaktoren für Holzschutzmittelbehandlungsanlagen.

| Aktivitätsrate | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Kreosotverbrauch | [t/a] | 3.600 | 4.000 | 4.400 | Normal |
| Emissionsfaktoren | | | | | |
| B(a)P | [mg/t] | 250 | 500 | 750 | Normal |
| PAH | [mg/t] | 625 | 1.250 | 1.875 | Normal |

Dem Sektor der Holzschutzmittelbehandlungsanlagen mit Teer und Teerölen werden alle Anlagen der 4. BImSchV-Kategorie 0504.2 zugeordnet. Die Emissionen sind in Tabelle 38 dargestellt.

Tabelle 38: Berichtete und berechnete Emissionen der Holzschutzmittelbehandlungsanlagen.

| Schadstoff | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | EE 2004 |
|------------|------------|----------------|------------|-----------------|----------|
| PCDD/PCDF | [g I-TE/a] | | | | 2,9 E -5 |
| B(a)P | [kg/a] | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 0,4 |
| PAH | [kg/a] | 2,5 | 5,0 | 7,6 | 35,8 |

Es werden die berechneten B(a)P- und PAH-Emissionen in das Inventar übernommen.

3.11. Transport und Verkehr

Im Stockholm-Übereinkommen werden nach Anlage C, III h. Kraftfahrzeuge als Quellkategorie für POPs-Emissionen angegeben. Die Berichtspflicht nach dem Stockholm-Übereinkommen besteht für PCDD/PCDF, HCB und PCB. Im UNECE POPs-Protokoll werden die Kraftfahrzeuge nicht als Quellkategorie für POPs genannt. Dennoch werden die POPs-Emissionen von Kraftfahrzeugen im Rahmen dieses Berichtes auch für PAH und B(a)P ermittelt.

Neben den Kraftfahrzeugen werden in diesem Abschnitt auch die Schadstoffemissionen von Binnenschiffen, dem nationalen zivilen Luftverkehr und dem Schienenverkehr berücksichtigt.

▪ Aktivitätsraten

Im ZSE sind die Aktivitätsraten von Kraftfahrzeugen in Form des Energieverbrauches (TJ) und der Fahrleistung (km) hinterlegt. In beiden Fällen kann eine Differenzierung in die Klassen Personenkraftwagen (PKW), leichte Nutzfahrzeuge (LNF), schwere Nutzfahrzeuge (SNF), Motorräder und andere Zweiräder (MZR) und Busse vorgenommen werden.

Die Aktivitätsraten der Strukturelemente Binnenschifffahrt (UEKB), ziviler nationaler Luftverkehr (LU_ZIV) und Schienenverkehr (SCHI) sind lediglich als Energieverbrauch (TJ) im ZSE verfügbar.

Die Energieverbräuche sind weiter nach dem verwendeten Treibstoff und dem Einsatz einer Minderungstechnik (MT) differenziert. Diese Aufteilung ist für die Fahrleistung nicht möglich, kann aber sowohl über eine Gewichtung entsprechend der brennstoffspezifischen Energieverbräuche als auch über die durch das UBA zur Verfügung gestellten TREMOD-Daten erreicht werden.

Für Dieselfahrzeuge werden die verschiedenen Subkategorien mit und ohne Minderungstechnik, sowie Biodiesel und herkömmlichen Diesel, zu einer Aktivitätsrate je Fahrzeugklasse (LNF, SNF, PKW) zusammengefasst.

Die TREMOD-Daten und die berechnete Fahrleistung entsprechen sich weitgehend. Für die Emissionsberechnungen werden im Folgenden die berechneten Aktivitätsraten verwendet, um auch bei Motorrädern eine Unterscheidung in „mit Minderungstechnik“ und „ohne Minderungstechnik“ durchführen zu können. Tabelle 39 zeigt die treibstoffspezifischen Aktivitätsraten des Sektors Transport und Verkehr und Tabelle 40 die berechnete Fahrleistung. Die Aktivitätsraten werden jeweils mit einer Normalverteilung und einer Abweichung von +/- 1% versehen.

Tabelle 39: Treibstoffspezifische Aktivitätsraten [t/a] des Sektors Transport und Verkehr für das Jahr 2004.

| Fahrzeug-klasse | Treibstoff | MT | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-------------------------------------|--|------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
| PKW | Benzin | ohne | 996.356 | 1.006.421 | 1.016.485 | normal |
| PKW | Benzin | mit | 22.720.504 | 22.950.004 | 23.179.504 | normal |
| PKW | Diesel | | 10.255.441 | 10.359.032 | 10.462.622 | normal |
| Busse | Diesel | | 1.125.637 | 1.137.007 | 1.148.377 | normal |
| SNF | Diesel | | 12.541.490 | 12.668.172 | 12.794.853 | normal |
| LNF | Benzin | ohne | 114.598 | 115.755 | 116.913 | normal |
| LNF | Benzin | mit | 133.603 | 134.952 | 136.302 | normal |
| LNF | Diesel | | 2.617.236 | 2.643.673 | 2.670.110 | normal |
| MZR | Benzin | ohne | 341.073 | 344.518 | 347.963 | normal |
| MZR | Benzin | mit | 141.660 | 143.091 | 144.522 | normal |
| Off Road Bauwirtschaft | Diesel | | 774.179 | 860.199 | 946.219 | normal |
| Off Road Bauwirtschaft | Benzin | ohne | 82.195 | 91.328 | 100.461 | normal |
| Off Road Militär | Diesel | | 20.491 | 22.767 | 25.044 | normal |
| Off Road Militär | Benzin | ohne | 119.772 | 133.080 | 146.389 | normal |
| KFZ gesamt: | | | 51.984.235 | 52.609.999 | 53.235.763 | |
| UEKB | Diesel | | 270.017 | 272.744 | 275.472 | normal |
| LU_ZIV | Flugtreibstoff Braunkohlen- briketts | | 1.385.217 | 1.399.209 | 1.413.201 | normal |
| SCHI | | | 10.800 | 10.909 | 11.018 | normal |
| SCHI | Dieselmotoren | | 494.540 | 499.535 | 504.530 | normal |
| Übrige gesamt: | | | 2.160.573 | 2.182.397 | 2.204.221 | |
| Transport und Verkehr gesamt | | | 54.144.809 | 54.792.396 | 55.439.984 | |

Tabelle 40: Fahrleistung [1.000 km/a] im Sektor Transport und Verkehr für das Jahr 2004.

| Fahrzeug-klasse | Treibstoff | MT | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--------------------|------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| PKW | Benzin | ohne | 17.610.504 | 17.788.388 | 17.966.272 | normal |
| PKW | Benzin | mit | 393.301.260 | 397.274.000 | 401.246.740 | normal |
| PKW | Diesel | | 176.105.042 | 177.883.881 | 179.662.720 | normal |
| Busse | Diesel | | 4.045.734 | 4.086.600 | 4.127.466 | normal |
| SNF | Diesel | | 55.854.088 | 56.418.271 | 56.982.454 | normal |
| LNF | Benzin | ohne | 1.426.994 | 1.441.408 | 1.455.822 | normal |
| LNF | Benzin | mit | 1.783.743 | 1.801.760 | 1.819.778 | normal |
| LNF | Diesel | | 32.464.118 | 32.792.039 | 33.119.959 | normal |
| MZR | Benzin | ohne | 11.577.466 | 11.694.410 | 11.811.354 | normal |
| MZR | Benzin | mit | 4.728.824 | 4.776.590 | 4.824.356 | normal |
| KFZ gesamt: | | | 698.897.774 | 705.957.348 | 713.016.921 | |

Die höchsten Aktivitätsraten des Sektors Transport und Verkehr sind bei den benzinbetriebenen PKW mit Minderungstechnik zu finden (998.325 TJ/a), gefolgt von den SNF (544.731 TJ/a) und den PKW mit Dieselmotoren (445.438 TJ/a). Insgesamt machen die Kraftfahrzeuge den Hauptanteil der Aktivitätsrate des Sektors Transport und Verkehr aus.

Des Weiteren wird noch der Brems- und Reifenabrieb berücksichtigt. Die Aktivitätsrate für den Brems- und Reifenabrieb wird zunächst aus der Fahrleistung in km und einem Faktor

(Tabelle 41) berechnet. Den Aktivitätsraten wird eine normalverteilte Abweichung von +/- 10% zugewiesen (Tabelle 42).

Tabelle 41: Faktoren zur Bestimmung der AR des Reifen- und Bremsabriebs im Straßenverkehrs ([62]; [12], S. B770-18])

| Fahrzeugklasse | Einheit | Bremsabrieb [62] | Reifenabrieb [12] |
|----------------|---------|------------------|-------------------|
| Busse | [mg/km] | 24,7 | 27,0 |
| LNF | [mg/km] | 9,2 | 10,1 |
| MZR | [mg/km] | 2,9 | 2,8 |
| PKWs | [mg/km] | 5,9 | 6,4 |
| SNF | [mg/km] | 25,8 | 27,0 |

Tabelle 42: Aktivitätsrate des Brems- und Reifenabriebs des Sektors Transport und Verkehr für das Jahr 2004.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------|---------|-----------|--------------|-----------|------------|
| Bremsabrieb | | | | | |
| Busse | [kg/a] | 117.694 | 130.771 | 143.848 | normal |
| LNF | [kg/a] | 372.964 | 414.405 | 455.845 | normal |
| MZR | [kg/a] | 54.848 | 60.943 | 67.037 | normal |
| PKWs | [kg/a] | 3.895.657 | 4.328.508 | 4.761.359 | normal |
| SNF | [kg/a] | 1.624.846 | 1.805.385 | 1.985.923 | normal |
| Reifenabrieb | | | | | |
| Busse | [kg/a] | 99.304 | 110.338 | 121.372 | normal |
| LNF | [kg/a] | 327.560 | 363.956 | 400.351 | normal |
| MZR | [kg/a] | 41.507 | 46.119 | 50.731 | normal |
| PKWs | [kg/a] | 3.415.371 | 3.794.856 | 4.174.342 | normal |
| SNF | [kg/a] | 1.370.964 | 1.523.293 | 1.675.623 | normal |

▪ Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren für den Sektor Transport und Verkehr stammen aus [64], [4], [27], [59], [12], [52] und [11].

Nicht für jede Subkategorie konnte ein spezifischer Emissionsfaktor ermittelt werden. Der Fahrzeugklasse „Motorisierte Zweiräder“ wird der Emissionsfaktor für benzinbetriebene PKW zugewiesen, Busse erhalten den Emissionsfaktor der schweren Nutzfahrzeuge (vgl. [64, S. 120; 12, S. B214]). Für leichte Nutzfahrzeuge wird mit Ausnahme der PCDD/PCDF und Diesel der Emissionsfaktor für PKW verwendet. Für die Fahrzeuge, die unter „Off Road Militär“ und „Off Road Bauwirtschaft“ zusammengefasst sind, werden generell für Dieselkraftstoff die EF für LNF angenommen und für Benzin die EF für PKW ohne MT.

In einigen Fällen wird bei den Emissionsfaktoren für Dieselfahrzeuge zwischen Direkteinspritzung (DI) und Indirekteinspritzung (IDI) unterschieden (vgl. [12, S. B214]). Für das nationale Emissionsinventar wird die Indirekteinspritzung vernachlässigt, da diese Technik als veraltet angesehen werden kann.

Nach [64, S. 119] stoßen Flugzeuge keine PCDD/PCDF-Emissionen aus. Bzgl. der PAH-Emissionen von Flugzeugen konnten keine Emissionsfaktoren ermittelt werden. Für den Schienenverkehr wurde der Emissionsfaktor von den Kleinfeuerungsanlagen des übrigen Kleinverbrauchs übernommen.

Die Emissionsfaktoren des Sektors Transport und Verkehr werden mit einer Normalverteilung und einer Abweichung von +/- 25% belegt. In Tabelle 43, Tabelle 44 und

Tabelle 45 sind die ermittelten PCDD/PCDF-, B(a)P- und PAH-Emissionsfaktoren aufgelistet. Die Kenngrößen für die Ermittlung der Berichtswerte sind in Tabelle 93, Tabelle 94 und Tabelle 95 im Anhang A 3 zu finden.

Tabelle 43: Ermittelte PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren [$\mu\text{g I-TE/t}$] für den Sektor Transport und Verkehr.

| Fahrzeug-klasse | Treibstoff | MT | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-----------------|--------------------------|------|--------------------------|------|--------------|------|------------|
| PKW | Benzin | ohne | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,09 | 0,12 | 0,15 | normal |
| PKW | Benzin | mit | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,02 | 0,02 | 0,03 | normal |
| PKW | Diesel | | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,05 | 0,06 | 0,08 | normal |
| Busse | Diesel | | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,05 | 0,07 | 0,09 | normal |
| SNF | Diesel | | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,05 | 0,07 | 0,09 | normal |
| LNF | Benzin | ohne | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,09 | 0,12 | 0,15 | normal |
| LNF | Benzin | mit | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,02 | 0,02 | 0,03 | normal |
| LNF | Diesel | | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,05 | 0,07 | 0,09 | normal |
| MZR | Benzin | ohne | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,09 | 0,12 | 0,15 | normal |
| MZR | Benzin | mit | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,02 | 0,02 | 0,03 | normal |
| UEKB | Diesel | ohne | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 3,00 | 4,00 | 5,00 | normal |
| SCHI | Braunkohlen- briketts | ohne | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,44 | 0,59 | 0,74 | normal |
| SCHI | Dieselmotortreibstoff | ohne | [$\mu\text{g I-TE/t}$] | 0,07 | 0,09 | 0,11 | normal |

Tabelle 44: Ermittelte B(a)P-Emissionsfaktoren für den Sektor Transport und Verkehr.

| Fahrzeug-klasse | Treibstoff | MT | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-----------------|--------------------------|------|---------|---------|--------------|---------|------------|
| PKW | Benzin | ohne | [mg/km] | 0,00033 | 0,00044 | 0,00055 | normal |
| PKW | Benzin | mit | [mg/km] | 0,00008 | 0,00011 | 0,00014 | normal |
| PKW | Diesel | | [mg/km] | 0,00050 | 0,00067 | 0,00084 | normal |
| Busse | Diesel | | [mg/km] | 0,00068 | 0,00090 | 0,00113 | normal |
| SNF | Diesel | | [mg/km] | 0,00068 | 0,00090 | 0,00113 | normal |
| LNF | Benzin | ohne | [mg/km] | 0,00033 | 0,00044 | 0,00055 | normal |
| LNF | Benzin | mit | [mg/km] | 0,00008 | 0,00011 | 0,00014 | normal |
| LNF | Diesel | | [mg/km] | 0,00050 | 0,00067 | 0,00084 | normal |
| MZR | Benzin | ohne | [mg/km] | 0,00033 | 0,00044 | 0,00055 | normal |
| MZR | Benzin | mit | [mg/km] | 0,00008 | 0,00011 | 0,00014 | normal |
| UEKB | Diesel | ohne | [mg/t] | 23 | 30 | 38 | normal |
| SCHI | Braunkohlen- briketts | ohne | [mg/t] | 512 | 683 | 854 | normal |
| SCHI | Dieselmotortreibstoff | ohne | [mg/t] | 23 | 30 | 38 | normal |

Tabelle 45: Ermittelte PAH-Emissionsfaktoren für den Sektor Transport und Verkehr.

| Fahrzeug-klasse | Treibstoff | MT | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-----------------|------------|------|---------|---------|--------------|---------|------------|
| PKW | Benzin | ohne | [mg/km] | 0,00173 | 0,00230 | 0,00288 | normal |
| PKW | Benzin | mit | [mg/km] | 0,00045 | 0,00060 | 0,00075 | normal |
| PKW | Diesel | | [mg/km] | 0,00180 | 0,00240 | 0,00300 | normal |
| Busse | Diesel | | [mg/km] | 0,01005 | 0,01340 | 0,01675 | normal |
| SNF | Diesel | | [mg/km] | 0,01005 | 0,01340 | 0,01675 | normal |
| LNF | Benzin | ohne | [mg/km] | 0,00173 | 0,00230 | 0,00288 | normal |
| LNF | Benzin | mit | [mg/km] | 0,00045 | 0,00060 | 0,00075 | normal |

| Fahrzeug-klasse | Treibstoff | MT | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|-----------------|--------------------------|------|---------|---------|--------------|---------|------------|
| LNF | Diesel | | [mg/km] | 0,00180 | 0,00240 | 0,00300 | normal |
| MZR | Benzin | ohne | [mg/km] | 0,00173 | 0,00230 | 0,00288 | normal |
| MZR | Benzin | mit | [mg/km] | 0,00045 | 0,00060 | 0,00075 | normal |
| UEKB | Diesel | ohne | [mg/t] | 30 | 40 | 50 | normal |
| | Braunkohlen- briketts | ohne | [mg/t] | | | | |
| SCHI | | | | 1.337 | 1.782 | 2.228 | normal |
| SCHI | Dieseldieselkraftstoff | ohne | [mg/t] | 30 | 40 | 50 | normal |

Die Emissionsfaktoren für B(a)P und PAH des Brems- und Reifenabrieb sind in Tabelle 46 mit einer Normalverteilung und einer Abweichung von +/- 25% dargestellt.

Tabelle 46: B(a)P- und PAH-Emissionsfaktoren für den Brems- und Reifenabrieb.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------|---------|-------|--------------|-------|------------|
| Bremsabrieb | | | | | |
| B(a)P | [mg/kg] | 0,56 | 0,74 | 0,93 | normal |
| PAH | [mg/kg] | 3,80 | 5,07 | 6,34 | normal |
| Reifenabrieb | | | | | |
| B(a)P | [mg/kg] | 2,93 | 3,90 | 4,88 | normal |
| PAH | [mg/kg] | 11,25 | 15 | 18,75 | normal |

▪ Emissionen

In Tabelle 47 sind die berechneten Emissionen des Sektors Transport und Verkehr dargestellt. In Tabelle 47 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor Transport und Verkehr unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 47: Berechnete Emissionen für den Sektor Transport und Verkehr.

| | Material | MT | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
|------------------|--------------------------|------|-------------------|----------------|------------|-----------------|
| PCDD/PCDF | | | | | | |
| Gesamt | | | [g I-TE/a] | 2,7 | 3,6 | 4,6 |
| PKW | Benzin | ohne | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| PKW | Benzin | mit | [g I-TE/a] | 0,3 | 0,5 | 0,6 |
| PKW | Diesel | | [g I-TE/a] | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| Busse | Diesel | | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,08 | 0,1 |
| SNF | Diesel | | [g I-TE/a] | 0,7 | 0,89 | 1,1 |
| LNF | Benzin | ohne | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| LNF | Benzin | mit | [g I-TE/a] | 0,002 | 0,003 | 0,003 |
| LNF | Diesel | | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| MZR | Benzin | ohne | [g I-TE/a] | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| MZR | Benzin | mit | [g I-TE/a] | 0,002 | 0,003 | 0,004 |
| UEKB | Diesel | ohne | [g I-TE/a] | 0,8 | 1,1 | 1,4 |
| | Braunkohlen- briketts | ohne | [g I-TE/a] | | | |
| SCHI | | | | 0,005 | 0,01 | 0,01 |
| SCHI | Dieseldieselkraftstoff | ohne | [g I-TE/a] | 0,03 | 0,04 | 0,1 |
| Off Road | | | | | | |
| Bauwirtschaft | Diesel | | | 0,044 | 0,060 | 0,077 |
| Off Road | | | | | | |
| Bauwirtschaft | Benzin | ohne | | 0,008 | 0,011 | 0,014 |
| Off Road | | | | | | |
| Militär | Diesel | | | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| Off Road | | | | | | |
| Militär | Benzin | ohne | | 0,012 | 0,016 | 0,020 |

| | Material | MT | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
|---------------|--------------------------|------|---------------|----------------|-------------|-----------------|
| B(a)P | | | | | | |
| Gesamt | | | [kg/a] | 234 | 312 | 391 |
| PKW | Benzin | ohne | [kg/a] | 5,9 | 7,8 | 9,8 |
| PKW | Benzin | mit | [kg/a] | 32,7 | 43,7 | 54,6 |
| PKW | Diesel | | [kg/a] | 89,4 | 119,2 | 149 |
| Busse | Diesel | | [kg/a] | 2,8 | 3,7 | 4,6 |
| SNF | Diesel | | [kg/a] | 38,0 | 50,8 | 63,5 |
| LNF | Benzin | ohne | [kg/a] | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| LNF | Benzin | mit | [kg/a] | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| LNF | Diesel | | [kg/a] | 16,5 | 22,0 | 27,5 |
| MZR | Benzin | ohne | [kg/a] | 3,9 | 5,1 | 6,4 |
| MZR | Benzin | mit | [kg/a] | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| UEKB | Diesel | ohne | [kg/a] | 6,1 | 8,2 | 10,2 |
| SCHI | Braunkohlen- briketts | ohne | [kg/a] | 5,6 | 7,5 | 9,3 |
| SCHI | Dieselmotorkraftstoff | ohne | [kg/a] | 11,2 | 15,0 | 18,7 |
| Bremsabrieb | | | [kg/a] | 3,7 | 5,0 | 6,4 |
| Reifenabrieb | | | [kg/a] | 16,8 | 22,8 | 29,1 |
| PAH | | | | | | |
| Gesamt | | | [kg/a] | 1350 | 1802 | 2255 |
| PKW | Benzin | ohne | [kg/a] | 30,7 | 40,9 | 51,1 |
| PKW | Benzin | mit | [kg/a] | 179 | 238 | 298 |
| PKW | Diesel | | [kg/a] | 320 | 427 | 534 |
| Busse | Diesel | | [kg/a] | 41,1 | 54,8 | 68,5 |
| SNF | Diesel | | [kg/a] | 567 | 756 | 945 |
| LNF | Benzin | ohne | [kg/a] | 2,5 | 3,3 | 4,1 |
| LNF | Benzin | mit | [kg/a] | 0,8 | 1,1 | 1,4 |
| LNF | Diesel | | [kg/a] | 59,0 | 78,7 | 98,5 |
| MZR | Benzin | ohne | [kg/a] | 20,2 | 26,9 | 33,7 |
| MZR | Benzin | mit | [kg/a] | 2,1 | 2,9 | 3,6 |
| UEKB | Diesel | ohne | [kg/a] | 8,2 | 10,9 | 13,7 |
| SCHI | Braunkohlen- briketts | ohne | [kg/a] | 14,6 | 19,4 | 24,3 |
| SCHI | Dieselmotorkraftstoff | ohne | [kg/a] | 15,0 | 20,0 | 25,0 |
| Bremsabrieb | | | [kg/a] | 25,2 | 34,2 | 43,6 |
| Reifenabrieb | | | [kg/a] | 64,3 | 87,6 | 111,8 |

Die höchste PCDD/PCDF-Emission geht mit 1,1 g I-TE/a auf die Binnenschifffahrt zurück. Hauptemittenten der Kraftfahrzeuge sind für PCDD/PCDF die SNF (0,9 g I-TE/a), gefolgt von den PKW mit Dieselmotoren (0,6 g I-TE/a) und den benzinbetriebenen PKW mit Minderungstechnik (0,5 g I-TE/a). Hauptemittent für B(a)P sind mit ca. 119 kg/a die PKW mit Dieselmotor. Die höchsten PAH-Emissionen treten bei den SNF (ca. 756 kg/a) auf, gefolgt von den PKW mit Dieselmotor (427 kg/a).

Im Vergleich zu den Abgasemissionen machen die Abriebemissionen einen vergleichsweise geringen Anteil der PAH-Emissionen des Sektors Transport und Verkehr aus.

3.12. Krematorien

Der Betrieb von Anlagen zur Feuerbestattung ist in der Bundesrepublik Deutschland über die 27. BImSchV geregelt. Die Aktivitätsrate der Krematorien ist im ZSE als Anzahl der Kremationen enthalten [62]. Sie wird aus der Anzahl der Sterbefälle und dem prozentualen Anteil an Feuerbestattungen in Deutschland bestimmt. Es wird eine Abweichung von +/- 1% und eine Normalverteilung angenommen.

Die Kenngrößen zur Ableitung des Emissionsfaktors (Berichtswert) können Tabelle 96 in Anhang A 3 entnommen werden.

In Tabelle 48 sind die Aktivitätsrate, der Emissionsfaktor für PCDD/PCDF sowie die berechnete Emission von Krematorien aufgeführt.

Tabelle 48: Aktivitätsrate, Emissionsfaktor und berechnete PCDD/PCDF-Emission für Feuerbestattungen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|------------------------|---------------------|---------------------------|---------------|----------------------------|------------|
| Aktivitätsrate | [Kremationen/a] | 334.754 | 338.135 | 341.516 | normal |
| Emissionsfaktor | | | | | |
| PCDD/PCDF | [µg I-TE/Kremation] | 0,3 | 0,4 | 0,5 | normal |
| | | | | | |
| Emissionen | | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil | |
| PCDD/PCDF | [g I-TE/a] | 0,10 | 0,14 | 0,17 | |

3.13. Kleinf Feuerungsanlagen der Haushalte und des übrigen Kleinverbrauchs

Die Kleinf Feuerungsanlagen werden im Folgenden in Kleinf Feuerungsanlagen zur Wärmeerzeugung in Haushalten (HH) und des übrigen Kleinverbrauchs (UEKV) sowie in mobile Quellen der Haushalte (HHM) und Kleinf Feuerungsanlagen des Militärs (MILITÄR) eingeteilt.

▪ Aktivitätsraten

Die Aktivitätsraten sind im ZSE in Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoffes angegeben, es erfolgt jedoch keine Unterteilung in die Art der Feuerungsanlagen (Tabelle 49). Die Aktivitätsraten von Brenntorf (14 TJ bei den HH und 56 TJ bei den UEKV) und Rohbraunkohle (11 TJ bei den UEKV) wurden jeweils der Aktivitätsrate der Braunkohlenbriketts zugerechnet.

Tabelle 49: Aktivitätsraten der Haushalte und der übrigen Kleinverbraucher [62].

| | HH [TJ/a] | UEKV [TJ/a] | HHM [TJ/a] | MILITÄR [TJ/a] |
|---|--------------|----------------|---------------|-------------------|
| Feste Brennstoffe | | | | |
| Braunkohlenbriketts | 14.986 | 1.653 | | |
| Braunkohlenkoks | | 1.680 | | |
| Brennholz (naturbelassen/Resthölzer) | 194.579 | 20.935 | | |
| Brenntorf | 14 | 56 | | |
| Steinkohle | 1.838 | 4.082 | | |
| Steinkohlenbriketts | 2.065 | | | |
| Steinkohlenkoks | 3.097 | 3.240 | | |
| Flüssige/gasförmige Brennstoffe | | | | |
| Erdgas | 1.070.000 | 428.456 | | 9.031 |
| Flüssiggas | 32.286 | 8.434 | | 5 |
| Heizöl, leicht | 693.000 | 235.976 | | 307 |
| Klärgas | | 132 | | |
| Ottokraftstoff | | | 2.395 | |
| Petroleum | 37 | 23 | | |

Für die Aktivitätsraten wird weiter eine Differenzierung nach der Art der Feuerungsanlage vorgenommen (Kesselanlagen und Öfen/Kamine). Grundlage hierfür stellen für die Haushalte die gerätebezogenen Endenergieverbrauche des Jahres 2000 für feste Brennstoffe [56, Anhang A, S. 59] sowie die Anzahl der verschiedenen installierten Feuerstätten des Jahres 2003 [35, S. 9] dar. Die gerätebezogenen Endenergieverbrauche der verschiedenen Brennstoffe des Jahres 2000 werden über die Anlagenanzahlen im Jahr 2000 [56, Anhang A, S. 59] in den Energieeinsatz je Anlage umgerechnet. Daraus werden dann in Verbindung mit den Anlagenzahlen des Jahres 2003 [35, S. 10] die gerätespezifischen Endenergieverbrauche der verschiedenen Brennstoffe für das Jahr 2003 abgeleitet.

Bei den Kleinverbrauchern liegen keine Anlagenzahlen für das Jahr 2003 vor. Grundlage für die prozentuale Verteilung der Festbrennstoffe auf Kamine/Öfen und Heizkessel stellen daher vorwiegend die brennstoff- und anlagenspezifischen Endenergieverbrauche des Jahres 2000 [56, Anhang, S. 61] sowie im Falle der Braunkohlenbriketts die Werte des Jahres 1995 dar [47, Anhang G, S. 234].

In Tabelle 50 sind die berechneten prozentualen Verteilungen der Endenergieverbrauche der festen Brennstoffe auf Heizkessel und Kamine/Öfen für die Haushalte und die übrigen Kleinverbraucher aufgeführt. Diese Verteilung wird auch für das Bezugsjahr 2004 verwendet.

Tabelle 50: Verteilungen der Endenergieverbrauche der festen Brennstoffe auf Kesselanlagen und Kamine/Öfen [35, 56].

| Material | Haushalte | | | Kleinverbraucher | | |
|---------------------|-------------|------------|------|------------------|------------|------|
| | Kamine/Öfen | Heizkessel | Jahr | Kamine/Öfen | Heizkessel | Jahr |
| Braunkohlenbriketts | 80 | 20 | 2003 | 2 | 98 | 1995 |
| Brennholz | 72 | 28 | 2003 | 10 | 90 | 2000 |
| Steinkohle | 77 | 23 | 2003 | 2 | 98 | 2000 |
| Steinkohlenbriketts | 100 | 0 | 2003 | | | |
| Steinkohlenkoks | 95 | 5 | 2003 | 5 | 95 | 2000 |

Die Aktivitätsraten der flüssigen und gasförmigen Brennstoffe werden ausschließlich den Kesselanlagen zugeordnet.

Bei den mobilen Emissionsquellen der Haushalte handelt es sich im Wesentlichen um Notstromaggregate, Gartengeräte oder ähnliches, welche mit Dieselmotoren, 2-Takt oder 4-Takt Benzinmotoren ausgestattet sein können (vgl. [12, S. B810-14]).

In Tabelle 51 und Tabelle 52 sind die Aktivitätsraten in Abhängigkeit der eingesetzten Brennstoffe und der Feuerungsart aufgeführt [62]. Es wird eine Abweichung von +/- 1% für gasförmige und flüssige Brennstoffe angenommen. Aufgrund der fehlenden Aktualität der Aufteilung der festen Brennstoffe auf verschiedene Feuerungsarten wird hier eine Abweichung von +/- 10% unterstellt. Alle Aktivitätsraten werden als normalverteilt angesehen.

Tabelle 51: Brennstoffspezifische Aktivitätsraten für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|------------|
| UEKV | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | TJ/a | 1.507 | 1.675 | 1.842 | normal |
| Braunkohlenkoks | TJ/a | 1.436 | 1.596 | 1.756 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | TJ/a | 16.957 | 18.842 | 20.726 | normal |
| Erdgas | TJ/a | 424.172 | 428.456 | 432.741 | normal |

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|-----------|--------------|-----------|------------|
| Flüssiggas | TJ/a | 8.350 | 8.434 | 8.519 | normal |
| Heizöl, leicht | TJ/a | 233.617 | 235.976 | 238.336 | normal |
| Klärgas | TJ/a | 131 | 132 | 133 | normal |
| Petroleum | TJ/a | 23 | 23 | 23 | normal |
| Steinkohle | TJ/a | 3.600 | 4.000 | 4.400 | normal |
| Steinkohlenkoks | TJ/a | 2.770 | 3.078 | 3.386 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | TJ/a | 2.700 | 3.000 | 3.300 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | TJ/a | 49.034 | 54.482 | 59.930 | normal |
| Erdgas | TJ/a | 1.059.300 | 1.070.000 | 1.080.700 | normal |
| Flüssiggas | TJ/a | 31.963 | 32.286 | 32.609 | normal |
| Heizöl, leicht | TJ/a | 686.070 | 693.000 | 699.930 | normal |
| Petroleum | TJ/a | 37 | 37 | 37 | normal |
| Steinkohle | TJ/a | 380 | 423 | 465 | normal |
| Steinkohlenkoks | TJ/a | 139 | 155 | 170 | normal |
| Militär | | | | | |
| Erdgas | TJ/a | 8.940 | 9.031 | 9.934 | normal |
| Flüssiggas | TJ/a | 5 | 5 | 5 | normal |
| Heizöl, leicht | TJ/a | 304 | 307 | 338 | normal |

Tabelle 52: Brennstoffspezifische Aktivitätsraten für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|------------|
| UEKV | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | TJ/a | 31 | 34 | 37 | normal |
| Braunkohlenkoks | TJ/a | 76 | 84 | 92 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | TJ/a | 1.884 | 2.094 | 2.303 | normal |
| Steinkohle | TJ/a | 73 | 82 | 90 | normal |
| Steinkohlenkoks | TJ/a | 146 | 162 | 178 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | TJ/a | 10.800 | 12.000 | 13.200 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | TJ/a | 126.087 | 140.097 | 154.107 | normal |
| Steinkohle | TJ/a | 1.274 | 1.415 | 1.557 | normal |
| Steinkohlenbriketts | TJ/a | 1.859 | 2.065 | 2.272 | normal |
| Steinkohlenkoks | TJ/a | 2.648 | 2.942 | 3.236 | normal |
| Mobile Quellen | | | | | |
| Ottokraftstoff | TJ/a | 2.371 | 2.395 | 2.419 | normal |

Die Aktivitätsrate der Haushalte einschließlich der mobilen Quellen liegt mit ca. 2.000.000 TJ weit über der des übrigen Kleinverbrauchs (ca. 700.000 TJ). Bei den Haushalten und den übrigen Kleinverbrauchern dominieren bei der Kesselfeuerungen die Brennstoffe Erdgas und Heizöl. Bei den Feuerungen in Kaminen und Öfen ist Holz der Brennstoff mit der höchsten Aktivitätsrate.

▪ Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren für die Haushalte (HH) und übrigen Kleinverbraucher (UEKV) wurden aus [2], [28], [12], [24], [18], [52], [27], [22], [47], [64], [57], [11] abgeleitet. Für die Kleinf Feuerungsanlagen des Militärs werden die Emissionsfaktoren der übrigen Kleinverbraucher übernommen.

Den Brennstoffen Flüssiggas und Klärgas werden die Emissionsfaktoren für Erdgas zugewiesen und für Petroleum werden die Emissionsfaktoren für Heizöl EL verwendet.

Die PCDD/PCDF- und B(a)P-Emissionsfaktor der mobilen Quellen der Haushalte entsprechen den EF für benzinbetriebene 2-Takt-Motoren ohne Katalysator aus [64].

Die Emissionsfaktoren der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher werden als normalverteilt angenommen. Die Abweichung vom Berichtswert beträgt bei den Festbrennstoffen 50% und bei den Gasen und Flüssigbrennstoffen aufgrund der größeren Homogenität der Brennstoffe und der ablaufenden Verbrennungsprozessen 25%.

Aufgrund größerer Anlagen und damit einhergehenden optimierten Verbrennungsbedingungen fallen die Emissionsfaktoren der übrigen Kleinverbraucher in einigen Fällen geringer aus als die Emissionsfaktoren der Haushalte. Eine Ausnahme stellt der PCDD/PCDF-Emissionsfaktor für die Holzfeuerung in Kesselanlagen dar. Der Einsatz von Resthölzern in diesem Bereich führt zu einem um den Faktor 10 höheren Emissionsfaktor im Vergleich zu den Haushalten (vgl. Tabelle 53).

In Tabelle 53 und Tabelle 54 sind die PCDD/PCDF-Berichtswerte, deren Verteilungstyp sowie Minimum und Maximum aufgelistet. Die Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte sind in Tabelle 97 des Anhanges A 3 aufgeführt.

Es wurde für die Kessel wie auch die Kamine/Öfen der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher jeweils ein gemeinsamer PCDD/PCDF-Emissionsfaktor aus den in der Literatur verfügbaren Emissionsfaktoren der verschiedenen Steinkohlearten (Steinkohle, Steinkohlebriketts, Steinkohlekoks) gebildet. Gleiches gilt für die Emissionsfaktoren für Braunkohle und für die Schadstoffgruppen B(a)P und PAH gleichermaßen.

Der PCDD/PCDF-EF für die Holzfeuerung in Kaminen der UEKV wurde von den Haushalten übernommen.

Tabelle 53: Ermittelte PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------------------|------------|-----|--------------|-----|------------|
| UEKV | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Braunkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Brennholz (naturbelassen+ Resthölzer) | µg I-TE/TJ | 200 | 400 | 600 | normal |
| Erdgas | µg I-TE/TJ | 1,3 | 1,7 | 2,1 | normal |
| Flüssiggas | µg I-TE/TJ | 1,3 | 1,7 | 2,1 | normal |
| Heizöl, leicht | µg I-TE/TJ | 2,3 | 3,0 | 3,8 | normal |
| Klärgas | µg I-TE/TJ | 1,3 | 1,7 | 2,1 | normal |
| Petroleum | µg I-TE/TJ | 2,3 | 3,0 | 3,8 | normal |
| Steinkohle | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Steinkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |
| Erdgas | µg I-TE/TJ | 1,3 | 1,7 | 2,1 | normal |
| Flüssiggas | µg I-TE/TJ | 1,3 | 1,7 | 2,1 | normal |
| Heizöl, leicht | µg I-TE/TJ | 2,3 | 3,0 | 3,8 | normal |
| Petroleum | µg I-TE/TJ | 2,3 | 3,0 | 3,8 | normal |
| Steinkohle | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |
| Steinkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |

Tabelle 54: Ermittelte PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen.

| UEKV | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|------------|------|--------------|------|------------|
| Braunkohlenbriketts | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Braunkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |
| Steinkohle | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |
| Steinkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | µg I-TE/TJ | 15 | 30 | 45 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | µg I-TE/TJ | 20 | 40 | 60 | normal |
| Steinkohle | µg I-TE/TJ | 30 | 60 | 90 | normal |
| Steinkohlenbriketts | µg I-TE/TJ | 30 | 60 | 90 | normal |
| Steinkohlenkoks | µg I-TE/TJ | 30 | 60 | 90 | normal |
| Mobile Quellen | | | | | |
| Ottokraftstoff | µg I-TE/TJ | 43,1 | 57,5 | 71,9 | normal |

In Tabelle 55 und Tabelle 56 sind die B(a)P-Emissionsfaktoren aufgelistet. Der B(a)P-Emissionsfaktor für Erdgas der Haushalte wurde von den übrigen Kleinverbrauchern übernommen, da in der Literatur keine näheren Angaben zu finden sind. Die Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte sind in Tabelle 98 des Anhangs A 3 aufgeführt.

Tabelle 55: Ermittelte B(a)P-Emissionsfaktoren für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| UEKV | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|-------|--------------|--------|------------|
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 20000 | 40000 | 60000 | normal |
| Braunkohlenkoks | mg/TJ | 20000 | 40000 | 60000 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 30000 | 60000 | 90000 | normal |
| Erdgas | mg/TJ | 30 | 40 | 50 | normal |
| Flüssiggas | mg/TJ | 30 | 40 | 50 | normal |
| Heizöl, leicht | mg/TJ | 450 | 600 | 750 | normal |
| Klärgas | mg/TJ | 30 | 40 | 50 | normal |
| Petroleum | mg/TJ | 450 | 600 | 750 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 10000 | 20000 | 30000 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 10000 | 20000 | 30000 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 25000 | 50000 | 75000 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 50000 | 100000 | 150000 | normal |
| Erdgas | mg/TJ | 30 | 40 | 50 | normal |
| Flüssiggas | mg/TJ | 30 | 40 | 50 | normal |
| Heizöl, leicht | mg/TJ | 750 | 1000 | 1250 | normal |
| Petroleum | mg/TJ | 750 | 1000 | 1250 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 10000 | 20000 | 30000 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 10000 | 20000 | 30000 | normal |

Tabelle 56: Ermittelte B(a)P-Emissionsfaktoren für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen.

| UEKV | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|-------|--------------|--------|------------|
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 62500 | 125000 | 187500 | normal |
| Braunkohlenkoks | mg/TJ | 62500 | 125000 | 187500 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 65000 | 130000 | 195000 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 62500 | 125000 | 187500 | normal |

| | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 62500 | 125000 | 187500 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 77500 | 155000 | 232500 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 70000 | 140000 | 210000 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 77500 | 155000 | 232500 | normal |
| Steinkohlenbriketts | mg/TJ | 77500 | 155000 | 232500 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 77500 | 155000 | 232500 | normal |
| Mobile Quellen | | | | | |
| Ottokraftstoff | mg/TJ | 690 | 920 | 1150 | normal |

In Tabelle 57 und Tabelle 58 sind die PAH-Emissionsfaktoren zusammengefasst. Für gasförmige Brennstoffe konnte kein PAH-Emissionsfaktor (k.EF) ermittelt werden. Die Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte sind in Tabelle 99 des Anhanges A 3 aufgeführt.

Tabelle 57: Ermittelte PAH-Emissionsfaktoren für Kesselanlagen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|--------|--------------|--------|------------|
| UEKV | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 100000 | 200000 | 300000 | normal |
| Braunkohlenkoks | mg/TJ | 100000 | 200000 | 300000 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 75000 | 150000 | 225000 | normal |
| Erdgas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Flüssiggas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Heizöl, leicht | mg/TJ | 3000 | 4000 | 5000 | normal |
| Klärgas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Petroleum | mg/TJ | 3000 | 4000 | 5000 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 65000 | 130000 | 195000 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 60000 | 130000 | 180000 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 135000 | 270000 | 405000 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 95000 | 190000 | 285000 | normal |
| Erdgas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Flüssiggas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Heizöl, leicht | mg/TJ | 3000 | 4000 | 5000 | normal |
| Petroleum | mg/TJ | 3000 | 4000 | 5000 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 80000 | 160000 | 240000 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 80000 | 160000 | 240000 | normal |

Tabelle 58: Ermittelte PAH-Emissionsfaktoren für Kamine und Öfen der Kleinverbraucher und Haushalte sowie der mobilen Quellen.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---------------------------|---------|--------|--------------|--------|------------|
| UEKV | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 150000 | 300000 | 450000 | normal |
| Braunkohlenkoks | mg/TJ | 150000 | 300000 | 450000 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 150000 | 300000 | 450000 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 130000 | 260000 | 390000 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 130000 | 260000 | 390000 | normal |
| Haushalte | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | mg/TJ | 200000 | 400000 | 600000 | normal |
| Brennholz (naturbelassen) | mg/TJ | 200000 | 400000 | 600000 | normal |
| Steinkohle | mg/TJ | 150000 | 300000 | 450000 | normal |
| Steinkohlenbriketts | mg/TJ | 150000 | 300000 | 450000 | normal |
| Steinkohlenkoks | mg/TJ | 150000 | 300000 | 450000 | normal |

▪ Emissionen

In Tabelle 59 sind die PCDD/PCDF-Emissionen, in Tabelle 60 die B(a)P-Emissionen und in Tabelle 61 die PAH-Emissionen der Monte Carlo Simulation einer Prognose aus [47, Anhang E, S. 212] für das Jahr 2005 gegenübergestellt. In dieser Prognose für das Jahr 2005 wird von einem Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs von 2.768.063 TJ im Jahr 1995 auf 2.964.400 TJ im Jahr 2005 ausgegangen. Der Energieträgermix bleibt dabei nahezu konstant, wobei auf Kosten des Verbrauches von Kohle und Heizöl der Erdgasverbrauch leicht zunimmt. Der Anteil der Holzbrennstoffe am Gesamtenergieverbrauch bleibt mit jeweils 4% konstant und beträgt 2005 119.932 TJ.

Laut der im vorliegenden Bericht verwendeten Aktivitätsraten aus dem ZSE [62] ergibt sich für das Jahr 1995 ein Gesamtenergieverbrauch von 2.772.884 TJ und für das Jahr 2004 ein leichter Rückgang auf 2.718.963 TJ. Deutlich zu beobachten ist der Anstieg des Anteils der Holzbrennstoffe von 4% im Jahr 1995 auf 8% im Jahr 2004 (215.514 TJ). Weiterhin zeigt sich ein deutlicher Rückgang des Verbrauches von Kohle und Heizöl und eine Zunahme des Verbrauches an gasförmigen Brennstoffen.

In Tabelle 59, Tabelle 60 und Tabelle 61 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 59: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PCDD/PCDF-Emissionen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | Prognose aus [47] für 2005 |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------|-----------------|----------------------------|
| Gesamt | [g I-TE/a] | 12,4 | 22,1 | 32,2 | 23,6 |
| UEKV | [g I-TE/a] | | 9,4 | | 15 |
| <i>Kessel</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [g I-TE/a] | 0,02 | 0,1 | 0,1 | |
| Braunkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,02 | 0,05 | 0,1 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [g I-TE/a] | 3,8 | 7,5 | 11,5 | |
| Erdgas | [g I-TE/a] | 0,5 | 0,7 | 0,9 | |
| Flüssiggas | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,01 | 0,02 | |
| Heizöl, leicht | [g I-TE/a] | 0,5 | 0,7 | 0,9 | |
| Klärgas | [g I-TE/a] | 0,00017 | 0,00022 | 0,00028 | |
| Petroleum | [g I-TE/a] | 0,00005 | 0,00007 | 0,00009 | |
| Steinkohle | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Steinkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,05 | 0,09 | 0,14 | |
| <i>Kamine/Öfen</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [g I-TE/a] | 0,001 | 0,001 | 0,002 | |
| Braunkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,001 | 0,003 | 0,004 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,1 | 0,1 | |
| Steinkohle | [g I-TE/a] | 0,002 | 0,003 | 0,005 | |
| Steinkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,003 | 0,006 | 0,010 | |
| HH | [g I-TE/a] | | 12,7 | | 8,6 |
| <i>Kessel</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,1 | 0,1 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [g I-TE/a] | 1,1 | 2,2 | 3,3 | |
| Erdgas | [g I-TE/a] | 1,4 | 1,8 | 2,3 | |
| Flüssiggas | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,1 | 0,1 | |
| Heizöl, leicht | [g I-TE/a] | 1,6 | 2,1 | 2,6 | |
| Petroleum | [g I-TE/a] | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | |
| Steinkohle | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,02 | 0,03 | |

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | Prognose aus [47] für 2005 |
|---------------------------|--------------------------|----------------|------------|-----------------|----------------------------|
| Steinkohlenkoks | [g I-TE/a] [g I-TE/a] | 0,003 | 0,01 | 0,01 | |
| <i>Kamine/Öfen</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [g I-TE/a] | 0,2 | 0,4 | 0,5 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [g I-TE/a] | 2,8 | 5,6 | 8,5 | |
| Steinkohle | [g I-TE/a] | 0,04 | 0,08 | 0,13 | |
| Steinkohlenbriketts | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Steinkohlenkoks | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,2 | 0,3 | |
| Mobile Quellen | | | | | |
| Ottokraftstoff | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| MILITÄR | | | | | |
| <i>Kessel</i> | | | | | |
| Erdgas | | 0,01132 | 0,01535 | 0,01962 | |
| Flüssiggas | | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 | |
| Heizöl, leicht | | 0,00068 | 0,00092 | 0,00117 | |

Die Holzbrennstoffe tragen insgesamt zu etwa 70% zu den PCDD/PCDF-Emissionen bei, gefolgt von den gasförmigen Brennstoffen Erdgas, Flüssiggas und Klärgas (12%), Heizöl EL (13%) und Kohle (5%). Innerhalb der Holzfeuerungen dominieren mit 49% die Emissionen aus den Kesselanlagen der Kleinverbraucher.

Nach [47, Anhang E, S. 212] werden ca. 60% der PCDD/PCDF-Emissionen von den Kleinverbrauchern emittiert, während die Berechnung mittels Monte Carlo Simulation einen Anteil von 44% ergibt. Diese Diskrepanz lässt sich über die unterschiedlichen Aktivitätsraten des Holzeinsatzes erklären. In [47] gehen knapp 30% des Holzeinsatzes auf die UEKV zurück, während es laut ZSE nur 10% sind. Daraus ergibt sich in unseren Berechnungen eine stärkere Gewichtung der Haushalte verbunden mit einer abnehmenden Gewichtung der Kleinverbraucher. Damit erfährt auch der hohe Emissionsfaktor für die Restholzverbrennung eine geringere Gewichtung (vgl. Tabelle 53).

Tabelle 60: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten B(a)P-Emissionen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil |
|---------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|
| Gesamt | [kg/a] | 15.557 | 30.703 | 46.416 |
| UEKV | [kg/a] | | 1.879 | |
| <i>Kessel</i> | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 33,2 | 67,0 | 101,8 |
| Braunkohlenkoks | [kg/a] | 31,6 | 63,8 | 97,0 |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 565 | 1130 | 1718 |
| Erdgas | [kg/a] | 12,9 | 17,1 | 21,4 |
| Flüssiggas | [kg/a] | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Heizöl, leicht | [kg/a] | 106 | 142 | 177 |
| Klärgas | [kg/a] | 0,004 | 0,01 | 0,01 |
| Petroleum | [kg/a] | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Steinkohle | [kg/a] | 39,5 | 80,0 | 121,4 |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 30,3 | 61,5 | 93,6 |
| <i>Kamine/Öfen</i> | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 2,1 | 4,3 | 6,5 |
| Braunkohlenkoks | [kg/a] | 5,2 | 10,5 | 15,9 |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 136 | 272 | 412 |
| Steinkohle | [kg/a] | 5,1 | 10,2 | 15,4 |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 10,1 | 20,2 | 30,7 |

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil |
|---------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|
| HH | [kg/a] | | 28.818 | |
| <i>Kessel</i> | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 75,1 | 150 | 229 |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 2704 | 5450 | 8284 |
| Erdgas | [kg/a] | 32,1 | 42,8 | 53,5 |
| Flüssiggas | [kg/a] | 1,0 | 1,3 | 1,6 |
| Heizöl, leicht | [kg/a] | 520 | 693 | 866 |
| Petroleum | [kg/a] | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Steinkohle | [kg/a] | 4,2 | 8,4 | 12,8 |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 1,5 | 3,1 | 4,7 |
| <i>Kamine/Öfen</i> | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 921 | 1860 | 2827 |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 9824 | 19618 | 29811 |
| Steinkohle | [kg/a] | 109 | 219 | 332 |
| Steinkohlenbriketts | [kg/a] | 160 | 320 | 487 |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 225 | 456 | 693 |
| <i>Mobile Quellen</i> | | | | |
| Ottokraftstoff | [kg/a] | 1,7 | 2,2 | 2,8 |
| MILITÄR | | | | |
| <i>Kessel</i> | | | | |
| Erdgas | | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| Flüssiggas | | 0,0001 | 0,0002 | 0,0002 |
| Heizöl, leicht | | 0,1 | 0,2 | 0,2 |

Bei B(a)P tragen die Holzbrennstoffe zu 87,1% und Kohle zu 10% zu den Emissionen der Haushalte und Kleinverbraucher bei. Heizöl EL (2,7%) und den gasförmigen Brennstoffen (0,2%) kommt nur eine untergeordnete Bedeutung zu. B(a)P-Emissionen werden in [47] nicht ausgewiesen, so dass kein Vergleich möglich ist. Innerhalb der Holzfeuerungen dominieren mit 70% die Emissionen aus Kaminen und Öfen der Haushalte.

Tabelle 61: Bereich der mittels Monte Carlo Simulation berechneten PAH-Emissionen der Kleinverbraucher und Haushalte.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | Prognose aus [47] für 2005 |
|---------------------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|----------------------------|
| Gesamt | [kg/a] | 42171 | 82867 | 124377 | 63.000 |
| <i>UEKV</i> | | | | | 7.000 |
| <i>Kessel</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 165 | 335 | 507 | |
| Braunkohlenkoks | [kg/a] | 159 | 319 | 486 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 1408 | 2827 | 4282 | |
| Erdgas | [kg/a] | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Flüssiggas | [kg/a] | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Heizöl, leicht | [kg/a] | 709 | 944 | 1181 | |
| Klär gas | [kg/a] | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Petroleum | [kg/a] | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 259 | 520 | 788 | |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 201 | 400 | 607 | |
| <i>Kamine/Öfen</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 5,1 | 10,2 | 15,5 | |
| Braunkohlenkoks | [kg/a] | 12,5 | 25,2 | 38,2 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 311 | 628 | 953 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 10,4 | 21,2 | 32,2 | |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 21,0 | 42,1 | 63,9 | |

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil | Prognose aus [47] für 2005 |
|---------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| HH | [kg/a] | | 76.792 | | 56.000 |
| <i>Kessel</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 402 | 810 | 1227 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 5121 | 10346 | 15806 | |
| Erdgas | [kg/a] | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Flüssiggas | [kg/a] | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Heizöl, leicht | [kg/a] | 2081 | 2773 | 3465 | |
| Petroleum | [kg/a] | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 33,5 | 67,7 | 103 | |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 12,3 | 24,8 | 37,5 | |
| <i>Kamine/Öfen</i> | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | [kg/a] | 2374 | 4801 | 7319 | |
| Brennholz (naturbelassen) | [kg/a] | 27933 | 56045 | 84536 | |
| Steinkohle | [kg/a] | 211 | 425 | 644 | |
| Steinkohlenbriketts | [kg/a] | 305 | 620 | 942 | |
| Steinkohlenkoks | [kg/a] | 438 | 883 | 1340 | |
| MILITÄR | | | | | |
| <i>Kessel</i> | | | | | |
| Erdgas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Flüssiggas | | k.EF | k.EF | k.EF | |
| Heizöl, leicht | | 0,9 | 1,2 | 1,6 | |

Die PAH-Emissionen werden zu ca. 85% von der Verbrennung von Holzbrennstoffen und zu ca. 11% von der Verbrennung von Kohle verursacht, während der Beitrag von Heizöl EL ca. 5% beträgt. Aufgrund fehlender Emissionsfaktoren werden die gasförmigen Brennstoffe nicht berücksichtigt. Ihr Beitrag kann jedoch als gering eingestuft und näherungsweise die relative Verteilung der B(a)P-Emissionen herangezogen werden.

Bei den Holzfeuerungen dominieren mit 80% die Emissionen aus Kaminen und Öfen der Haushalte.

Die Prognose für das Jahr 2005 aus [47] ergibt eine Emission von 63,4 t PAH der Haushalte und Kleinverbraucher, während die Berechnung mittels Monte Carlo Simulation im Mittel 82 t für das Bezugsjahr 2004 ergibt. Wird als alleiniger Holzverbrauch der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher der in [47] berücksichtigte Holzverbrauch von 119.932 TJ (Verbrennung in Kaminen und Öfen der Haushalte) zugrunde gelegt, so ergeben sich PAH-Emissionen von insgesamt ca. 60 t.

3.14. Offene Verbrennung

Die Kategorie der offenen Verbrennung setzt sich aus den Unterkategorien Brandunfälle, Waldbrände, offene Verbrennung von Biomasse in der Land- und Forstwirtschaft sowie illegale Müllverbrennung zusammen.

▪ Aktivitätsrate

Die Anzahl der Brandunfälle wurde über die Jahresberichte und Einsatzstatistiken der Feuerwehren in den einzelnen Bundesländern ermittelt. Im Jahr 2004 kam es zu etwa 200.000 Brandeinsätzen der Feuerwehren. Dabei handelte es sich überwiegend um Kleinbrände¹⁹ (84%), Mittelbrände²⁰ traten zu 12% und Großbrände²¹ zu 4% auf. Neben der

¹⁹ Einsatz von Handlöschern, Kübelspritzen und bis zu 1 C-Rohr sowie Brände, die beim Eintreffen der Feuerwehr bereits gelöscht waren

²⁰ Einsatz von bis zu 3 C-Rohren gleichzeitig

²¹ Einsatz von mehr als 3 C-Rohren gleichzeitig

Anzahl der Brände ist auch das Brandobjekt von Bedeutung. Aus den verfügbaren Daten wurden zu 33% Brände in Gebäuden, zu 7% in Industrieanlagen, zu 3% in landwirtschaftlichen Anwesen, zu 10% in Wald- und Freiflächen, zu 11% in Fahrzeugen und zu 37% Brände an Kleinteilen bzw. sonstigen Objekten abgeleitet. Für die Anzahl der Brandeinsätze wird eine Abweichung von +/- 10% und eine Normalverteilung angenommen.

Die Waldbrandstatistik des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zählt im Jahr 2004 626 Waldbrände mit einer Brandfläche von 274,3 ha [5]. Um die verbrannte Menge Brandgut zu bestimmen, wird der durchschnittliche Holzvorrat laut Bundeswaldinventur herangezogen (320 m³/ha, ca. 220 t/ha). Unter der Annahme, dass 10% des Holzvorrates bei einem Waldbrand verbrennen, ergeben sich 5.500 t Brandgut im Jahr 2004. Für diese Aktivitätsrate wird eine Abweichung von +/- 25% und eine Normalverteilung angenommen.

Die Ermittlung einer Aktivitätsrate für die offene Verbrennung von Biomasse, beispielsweise in Form von Garten- oder Parkabfällen, Pflanzenresten in der Landwirtschaft oder Schlagabraum nach Forstarbeiten, kann nur über eine grobe Abschätzung erfolgen. Vielerorts existieren diesbezüglich Auflagen oder Verbote. Laut statistischem Bundesamt wurden 2004 etwa 4 Mio. t Garten- und Parkabfälle getrennt erfasst und einer Behandlung zugeführt. Es wird unterstellt, dass 0,1-1% dieser Menge (4.000-40.000 t) zusätzlich offen verbrannt wird. Für diese Aktivitätsrate wird eine Gleichverteilung angenommen. Die Menge an offen verbrannten Holzresten und Schlagabraum wird über die jährlich geschlagene Holzmenge geschätzt. In Deutschland wurden 2004 etwa 54,5 Mio m³ Holz geschlagen [8, S. 7]. Unter der Annahme, dass Schlagabraum zu 10% der geschlagenen Holzmenge anfällt und 0,1-1% dieser Menge offen verbrannt wird (0,01 – 0,1% der Produktionsmenge), ergeben sich ca. 5.450 m³ – 54.500 m³ Holz (3.500-35.000 t). Für diese Aktivitätsrate wird ebenfalls eine Gleichverteilung angenommen. In der Schweiz wurden zum Vergleich 5,2 Mio m³ Holz produziert (3,3 Mio t) [55]. Das BUWAL geht dabei von einer offen verbrannten Menge von 63.000 t/a aus [45, S. 59]. Dies entspricht einem Anteil von 2% der Produktionsmenge.

Die illegale Mitverbrennung von Abfällen kann sowohl in Holz- und Kohleöfen der Haushalte und Kleinverbraucher als auch bei der offenen Verbrennung von Biomasse erfolgen. Eine Aktivitätsrate für die illegale Müllverbrennung lässt sich naturgemäß ebenfalls nur grob schätzen. In der Schweiz wird hierfür 1% der Menge an Siedlungsabfällen angenommen [16, S. 59]. Dieser Anteil erscheint für Deutschland bei einem Aufkommen an Haushaltsabfällen 2004 von 37,6 Mio t/a bzw. 456 kg/Einwohner (vgl. Statistisches Bundesamt) allerdings als zu hoch. Es wird somit unterstellt, dass 0,01% - 0,1% des Abfallaufkommens illegal verbrannt werden. Für diese Aktivitätsrate wird auch eine Gleichverteilung angenommen. Die Aktivitätsraten der offenen Verbrennung sind in Tabelle 62 zusammengefasst.

Tabelle 62: Aktivitätsraten der offenen Verbrennung

| Brandunfälle | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|----------------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| Gebäude | [Brände/a] | 59.400 | 66.000 | 72.600 | Normal |
| Industrieanlagen | [Brände/a] | 12.600 | 14.000 | 15.400 | Normal |
| Landwirtschaft | [Brände/a] | 5.400 | 6.000 | 6.600 | Normal |
| Fahrzeuge | [Brände/a] | 19.800 | 22.000 | 24.200 | Normal |
| Freiflächen | [Brände/a] | 18.000 | 20.000 | 22.000 | Normal |
| Kleinteile/Sonstiges | [Brände/a] | 66.600 | 74.000 | 81.400 | Normal |
| Waldbrände | [t/a] | 4.125 | 5.500 | 6.875 | Normal |
| Garten und Landwirtschaft | [t/a] | 4.000 | | 40.000 | Uniform |
| Forstwirtschaft | [t/a] | 3.500 | | 35.000 | Uniform |
| Illegale Müllverbrennung | [t/a] | 4.000 | | 40.000 | Uniform |

▪ Emissionsfaktoren

Für Brandunfälle konnten nur für PCDD/PCDF und B(a)P Emissionsfaktoren aus [52] abgeleitet werden. Der in [52] dargestellte Streuungsbereich wurde übernommen und mit einer Dreiecksverteilung versehen. Ist kein Streuungsbereich angegeben, wird eine Abweichung von -50% und +100% mit einer Lognormalverteilung angenommen. Die Berechnung der Emissionen aus Bränden von Freiflächen erfolgt innerhalb der Unterkategorie „Waldbrände“.

PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für Waldbrände, die offene Biomasseverbrennung sowie die illegale Müllverbrennung konnten [64] und [52] entnommen werden. Für B(a)P und PAH werden die Emissionsfaktoren aus dem EMEP [12] für offene Feuerstellen verwendet. Für die Emissionsfaktoren wird eine Lognormalverteilung und eine Abweichung von -50% und +100% angenommen.

In Tabelle 63, Tabelle 64 und Tabelle 65 sind die Wertebereiche der PCDD/PCDF-, B(a)P- und PAH-Emissionsfaktoren aufgeführt.

Die Kenngrößen zur Ableitung der EF für die offene Verbrennung sind in Tabelle 100 und Tabelle 101 in Anhang A 3 aufgeführt.

Tabelle 63: Wertebereich der PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren für die offene Verbrennung.

| Brandunfälle | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|---|-----------------|-----|--------------|-------|------------|
| Gebäude | [µg I-TE/Brand] | 30 | 50 | 75 | triangular |
| Industrieanlagen | [µg I-TE/Brand] | 100 | 550 | 3.000 | triangular |
| Landwirtschaft | [µg I-TE/Brand] | 125 | 250 | 500 | lognormal |
| Fahrzeuge | [µg I-TE/Brand] | 5 | 10 | 20 | triangular |
| Kleinteile/Sonstiges | [µg I-TE/Brand] | 2 | 14 | 100 | triangular |
| Waldbrände | [µg I-TE/t] | 2,5 | 5 | 10 | lognormal |
| Offene Verbrennung von Biomasse in der Land- und Forstwirtschaft | [µg I-TE/t] | 2,5 | 5 | 10 | lognormal |
| Illegale Müllverbrennung | [µg I-TE/t] | 150 | 300 | 600 | lognormal |

Tabelle 64: Wertebereich der B(a)P-Emissionsfaktoren für die offene Verbrennung.

| Brandunfälle | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--|------------|-------|--------------|--------|------------|
| Gebäude | [mg/Brand] | 315 | 630 | 1.260 | lognormal |
| Industrieanlagen | [mg/Brand] | 2.895 | 5.790 | 11.580 | lognormal |
| Landwirtschaft | [mg/Brand] | 315 | 630 | 1.260 | lognormal |
| Fahrzeuge | [mg/Brand] | 860 | 1.720 | 3.440 | lognormal |
| Kleinteile/Sonstiges | [mg/Brand] | 5,95 | 11,90 | 23,80 | lognormal |
| Waldbrände | [g/t] | 1,35 | 2,70 | 5,40 | lognormal |
| Offene Verbrennung von Biomasse | [g/t] | 1,35 | 2,70 | 5,40 | lognormal |
| Illegale Müllverbrennung | [g/t] | 1,35 | 2,70 | 5,40 | lognormal |

Tabelle 65: Wertebereich der PAH-Emissionsfaktoren für die offene Verbrennung.

| | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--|---------|-----|--------------|-----|------------|
| Waldbrände | [g/t] | 4,5 | 9 | 18 | lognormal |
| Offene Verbrennung von Biomasse | [g/t] | 4,5 | 9 | 18 | lognormal |
| Illegale Müllverbrennung | [g/t] | 4,5 | 9 | 18 | lognormal |

Die mittels Monte Carlo Simulation berechneten Emissionen der offenen Verbrennung sind in Tabelle 66 dargestellt. In Tabelle 66 sind die Ergebnisse der MC-Simulation für den gesamten Sektor der offenen Verbrennung unter „Gesamt“ mit angegeben.

Tabelle 66: Berechnete Emissionen der offenen Verbrennung.

| | Einheit | 2,5% Perzentil | Mittelwert | 97,5% Perzentil |
|---------------------------------|------------|----------------|-------------|-----------------|
| PCDD/PCDF | | | | |
| Gesamt | [g I-TE/a] | 8,5 | 32,4 | 71,5 |
| Gebäude | [g I-TE/a] | 2,3 | 3,4 | 4,7 |
| Industrieanlagen | [g I-TE/a] | 3,9 | 17,0 | 36,2 |
| Landwirtschaft | [g I-TE/a] | 0,6 | 1,6 | 3,6 |
| Fahrzeuge | [g I-TE/a] | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| Kleinteile/Sonstiges | [g I-TE/a] | 0,5 | 2,9 | 6,3 |
| Waldbrände | [g I-TE/a] | 0,01 | 0,03 | 0,07 |
| Offene Verbrennung von Biomasse | [g I-TE/a] | 0,03 | 0,22 | 0,62 |
| Illegale Müllverbrennung | [g I-TE/a] | 1,1 | 7,0 | 19,5 |
| B(a)P | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 95,3 | 374 | 957 |
| Gebäude | [kg/a] | 15,5 | 44,2 | 100,0 |
| Industrieanlagen | [kg/a] | 30,3 | 86,3 | 194,9 |
| Landwirtschaft | [kg/a] | 1,4 | 4,0 | 9,2 |
| Fahrzeuge | [kg/a] | 14,2 | 40,3 | 90,8 |
| Kleinteile/Sonstiges | [kg/a] | 0,3 | 0,9 | 2,1 |
| Waldbrände | [kg/a] | 5,4 | 15,8 | 36,3 |
| Offene Verbrennung von Biomasse | [kg/a] | 18,2 | 119 | 343 |
| Illegale Müllverbrennung | [kg/a] | 10,0 | 63,2 | 180,3 |
| PAH | | | | |
| Gesamt | [kg/a] | 112 | 658 | 1861 |
| Waldbrände | [kg/a] | 18 | 53 | 121 |
| Offene Verbrennung von Biomasse | [kg/a] | 60 | 395 | 1136 |
| Illegale Müllverbrennung | [kg/a] | 34 | 210 | 604 |

Hauptemittenten der offenen Verbrennung für PCDD/PCDF sind die Brandunfälle von Industrieanlagen (ca. 53%) und die illegale Müllverbrennung (ca. 22%). Bei B(a)P und PAH dominiert die offene Verbrennung von Biomasse die Emissionen (ca. 32% bei B(a)P und ca. 60% bei PAH). Es bleibt anzumerken, dass für PAH keine Berechnung von Emissionen aus Brandunfällen durchgeführt werden konnten, da keine EF zur Verfügung standen.

3.15. Zusammenfassende Darstellung des nationalen Emissionsinventars

Die Angabe NE („nicht ermittelt“) bezeichnet in den folgenden Tabellen Sektoren, für welche aufgrund fehlender EF oder AR keine Emissionsberechnung mittels Monte Carlo Simulation durchgeführt werden konnte. Es wird, soweit vorhanden, der Berichtswert aus den Emissionserklärungen für diese Sektoren mit angegeben.

Unter „Gesamt“ sind in Tabelle 67, Tabelle 68, Tabelle 69, Tabelle 70 und Tabelle 71 die Ergebnisse der MC-Simulation für das Gesamtinventar angegeben.

In Tabelle 67 ist das nationale Emissionsinventar (Luftpfad) für PCDD/PCDF für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 67: Nationales Emissionsinventar für PCDD/PCDF (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PCDD/PCDF [g I-TE] | | |
|--|--------------------|--------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 1,5 | 2,2 | 2,8 |
| Zementöfen | 0,4 | 0,8 | 1,2 |
| Zellstoffproduktion | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Metallindustrie | 40,6 | 55,3 | 70,8 |
| Offene Verbrennung | 16,0 | 32,4 | 54,4 |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | 17,2 | 22,1 | 27,1 |
| Feuerungsanlagen | 5,4 | 7,5 | 10,1 |
| Chemische Industrie ²² | | NE | |
| Krematorien | 0,10 | 0,14 | 0,17 |
| Transport und Verkehr | 3,2 | 3,6 | 4,1 |
| Tierkörperbeseitigung | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| Textil- und Lederbehandlung ²³ | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 0,9 | 1,7 | 2,6 |
| Holzschutzmittelbehandlung ²⁴ | | NE | |
| Gesamt²⁵ | 102 | 126,5 | 154 |

Die Hauptemissionsquellen für PCDD/PCDF stellen mit etwa 44% die Eisen- und Stahlindustrie (wobei davon ca. 88% auf die Sinter- und Elektrostahlanlagen zurückgehen), mit etwa 26% die offene Verbrennung (wobei davon insgesamt etwa 74% auf offene Brände von Industrieanlagen und die illegale Müllverbrennung zurückgehen) und mit knapp 18% die häuslichen Verbrennungsquellen (wobei davon etwa 70% auf die Holzfeuerungen zurückgehen) dar.

Die EU-weiten PCDD/PCDF-Emissionen betragen nach [1] in etwa 20 kg, wobei davon ca. ¾ in Form fester Abfälle anfällt und lediglich ¼ (ca. 5 kg) in die Luft emittiert wird. EU-weit werden die Emissionen dominiert von Kleinf Feuerungsanlagen, der offenen Verbrennung von Abfällen, sowie der Eisen- und Stahlindustrie (insbesondere Sinteranlagen) und Emissionen der öffentliche Stromerzeugung (insbesondere Biomassekraftwerke). Die PCDD/PCDF-Emissionen in Gewässer sind nach [1] aufgrund der schlechten Wasserlöslichkeit als gering einzustufen.

In Tabelle 68 und in Tabelle 69 ist das nationale Emissionsinventar (Luftpfad) für B(a)P und in PAH für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 68: Nationales Emissionsinventar für B(a)P (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | B(a)P [kg] | | |
|--|----------------|--------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 34,7 | 55 | 75 |
| Zementöfen | 12,5 | 25,1 | 37,6 |
| Zellstoffproduktion ²⁶ | | NE | |
| Metallindustrie | 203 | 286 | 369 |
| Offene Verbrennung | 206 | 374 | 642 |

²² Berichtswert PCDD/PCDF aus EE 2004: 0,008 g I-TE

²³ Berichtswert PCDD/PCDF aus EE 2004: 5,6 E-5 g I-TE

²⁴ Berichtswert PCDD/PCDF aus EE 2004: 2,9 E-5 g I-TE

²⁵ Gesamtemission PCDD/PCDF inkl. ^{22, 23, 24}: 116 g I-TE

²⁶ Berichtswerte B(a)P aus EE 2004: 0,031 kg

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | B(a)P [kg] | | |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | 20.481 | 30.703 | 41.487 |
| Feuerungsanlagen | 135 | 164 | 195 |
| Chemische Industrie ²⁷ | | NE | |
| Krematorien | | NE | |
| Transport und Verkehr | 277 | 312 | 347 |
| Tierkörperbeseitigung ²⁸ | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung ²⁹ | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 64 | 119 | 174 |
| Holzschutzmittelbehandlung | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| Gesamt³⁰ | 21.765 | 32.040 | 42.772 |

Die Hauptemissionsquellen für B(a)P stellen mit etwa 96% die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher dar. Davon gehen ca. 86% allein auf die Holzfeuerungen zurück.

Tabelle 69: Nationales Emissionsinventar für PAH (Luftpfad) für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PAH [kg] | | |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | | NE | |
| Zementöfen | 1.571 | 3.140 | 4.708 |
| Zellstoffproduktion | | NE | |
| Metallindustrie | 1.413 | 2.023 | 2.632 |
| Offene Verbrennung | 215 | 658 | 1.456 |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | 53.622 | 82.867 | 112.164 |
| Feuerungsanlagen | 2.904 | 3.781 | 4.803 |
| Chemische Industrie ²⁷ | | NE | |
| Krematorien | | NE | |
| Transport und Verkehr | 1.572 | 1.802 | 2.028 |
| Tierkörperbeseitigung | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 1.235 | 2.335 | 3.436 |
| Holzschutzmittelbehandlung | 2,5 | 5,0 | 7,6 |
| Gesamt³¹ | 67.337 | 96.611 | 126.002 |

Analog zu den B(a)P-Emissionen, stellen die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher auch für die PAH die Hauptemissionsquelle dar. Sie sind für ca. 86% der PAH Emissionen verantwortlich, wobei etwa 84% davon auf die Holzfeuerungen zurückzuführen sind.

Die EU-weiten PAH-Emissionen betragen grob 3.000 t pro Jahr, wobei etwa 2.000 t (ca. 70 %) in die Luft emittiert werden und etwa 900 t (ca. 30 %) in die Gewässer eingeleitet werden (vgl. [1]). Die EU-weiten PAH-Luftemissionen werden nach [1] von den häuslichen Verbrennungsquellen, dem Straßenverkehr und den Holzschutzmitteln dominiert. Mit Ausnahme der Raffinerien und der Anoden-Produktion stellen die industriellen Sektoren keine Hauptquellgruppen dar (vgl. [1]).

²⁷ Berichtswerte B(a)P aus EE 2004: 2,5 kg; PAH: 56,7 kg

²⁸ Berichtswert B(a)P aus EE 2004: 0,04 kg

²⁹ Berichtswert B(a)P aus EE 2004: 0,02 kg

³⁰ Gesamtemission B(a)P inkl. ^{26, 27, 28, 29}: 32.924 kg

³¹ Gesamtemission PAH inkl. ²⁷: 115.041 kg

Eine vergleichsweise schlechte Datenbasis in Bezug auf die Emissionsberechnung wie auch die Berichterstattung in den Emissionserklärungen liegt für HCB und die Gruppe der PCB vor.

In Tabelle 70 ist das nationale Emissionsinventar (Luftpfad) für PCB für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen zusammenfassend dargestellt. Es konnten lediglich für die Thermische Abfallbehandlung, die Zementproduktion und die Metallindustrie Emissionsberechnungen durchgeführt werden. In den Emissionserklärungen werden PCB-Emissionen für die Sektoren thermische Abfallbehandlung, metallurgische Industrie, Feuerungsanlagen und die Zementproduktion berichtet.

Tabelle 70: Nationales Emissionsinventar für PCB für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | PCB [kg] | | |
|--|----------------|-----------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 0,7 | 1,0 | 1,3 |
| Zementöfen | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| Zellstoffproduktion | | NE | |
| Metallindustrie | 26,5 | 38,1 | 49,7 |
| Offene Verbrennung | | NE | |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | | NE | |
| Feuerungsanlagen ³² | | NE | |
| Chemische Industrie | | NE | |
| Krematorien | | NE | |
| Transport und Verkehr | | NE | |
| Tierkörperbeseitigung | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | | NE | |
| Holzschutzmittelbehandlung | | NE | |
| Gesamt³³ | 27 | 39 | 51 |

EU-weit werden nach [1] in etwa 5 t PCB pro Jahr unbeabsichtigt emittiert, wovon in etwa 4 t in die Luft emittiert werden. Die Hauptemissionsquellen für unbeabsichtigt gebildete PCB in die Luft sind nach [1] die Sektoren Feuerungsanlagen, Transport und Verkehr und die Eisen- und Stahlindustrie. Die PCB-Emissionen in die Gewässer werden aufgrund ihrer schlechten Wasserlöslichkeit als gering eingeschätzt.

In Tabelle 70 ist das nationale Emissionsinventar (Luftpfad) für HCB für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen zusammenfassend dargestellt. Es konnten lediglich für Zementöfen Emissionsberechnungen durchgeführt werden. In den Emissionserklärungen werden HCB-Emissionen für die metallurgische Industrie, die Zementproduktion und die chemische Industrie berichtet.

Tabelle 71: Nationales Emissionsinventar für HCB für das Jahr 2004 nach dem Stockholm-Übereinkommen

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | HCB [kg] | | |
|--|----------------|--------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | | NE | |
| Zementöfen | | NE | |
| Zellstoffproduktion | | NE | |
| Metallindustrie ³⁴ | | NE | |

³² Berichtswerte PCB aus EE 2004: 1,1 kg

³³ Gesamtemission PCB inkl. ³²: 19 kg

| Quellkategorien des Stockholm-Übereinkommens nach Anlage C | HCB [kg] | | |
|--|----------------|-----------|-----------------|
| | 2,5% Perzentil | Mittel | 97,5% Perzentil |
| Offene Verbrennung | | NE | |
| Haushalte und übrige Kleinverbraucher | | NE | |
| Feuerungsanlagen | | NE | |
| Chemische Industrie ³⁵ | | NE | |
| Krematorien | | NE | |
| Transport und Verkehr | | NE | |
| Tierkörperbeseitigung | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | | NE | |
| Holzschutzmittelbehandlung | | NE | |
| Gesamt³⁶ | | NE | |

Die EU-weiten HCB-Emissionen liegen in derselben Größenordnung wie die PCB-Emissionen. Es werden etwa 4 t jährlich emittiert, etwa 3,5 t davon in die Luft. Die unbeabsichtigten Luftemissionen von HCB gehen nach [1] vor allem auf den Einsatz von Pestiziden, die Eisen- und Stahlindustrie (insbesondere die Nichteisen-Metallindustrie), die chemische Industrie und häusliche Verbrennungsquellen zurück.

HCB-Emissionen in Gewässer sind nach [1] vergleichsweise gering (s.o.) und gehen vornehmlich auf die chemische Industrie zurück.

Laut UNECE POPs-Protokoll [36] resultieren unbeabsichtigte HCB-Emissionen aus der gleichen Art thermischer und chemischer Prozesse wie PCDD/PCDF-Emissionen und werden durch ähnliche Mechanismen gebildet. Als Hauptemittenten für HCB werden dort die thermische Abfallbehandlung, die Metallindustrie und die Verbrennung chlorhaltiger Brennstoffe in Ofenanlagen genannt.

4. Emissionsprognosen

Die in diesem Kapitel vorgestellten Emissionsprognosen werden mittels Monte Carlo Simulation (vgl. Kapitel 2.2) mit Hilfe der prognostizierten AR aus dem ZSE und den EF des Bezugsjahres 2004 (Vgl. Kapitel 3) berechnet. Prognostiziert werden im ZSE AR für die Jahre 2010, 2015 und 2020. Es wird für die Prognosen angenommen, dass sich die Unsicherheiten der AR für die einzelnen Sektoren bis zum Jahr 2020 verdoppeln (vgl. Kapitel 3), bei jeweils gleichbleibendem Verteilungstyp. Der Anstieg der Unsicherheiten erfolgt linear über den prognostizierten Zeitraum. Die Schwankungsbereiche der EM werden in den Abbildungen dieses Kapitels mittels Fehlerbalken dargestellt. Zum Vergleich werden die Emissionen des Bezugsjahres 2004 in den Abbildungen jeweils mit dargestellt. Die EF, deren Verteilungen und Unsicherheiten werden als konstant angenommen (vgl. Kapitel 3). Die Prognosen der AR aus dem ZSE [62], sowie deren angenommenen Schwankungsbereiche, können Tabelle 102 in Anhang A 4 entnommen werden.

Für die Sektoren Tierkörperbeseitigungsanlagen, Holzschutzmittelbehandlungsanlagen, Krematorien und Offene Verbrennung sind keine AR bzw. Prognosen im ZSE vorhanden. Gleiches gilt für die thermische Behandlung von Klärschlamm und Altholz als Teilbereiche der thermischen Abfallbehandlung sowie für die Aktivitäten der Feuerungen in Biomassekraftwerken (Brennstoffverbrauch für Holz, Pflanzenöl und Biogas). Für diese Sektoren werden die AR des Bezugsjahres 2004 für die Prognosen beibehalten und es werden lediglich die Schwankungsbereiche verändert (s.o., vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4). Für die Anodenproduktion, als Teilbereich des Sektors Koks und Anodenproduktion, werden

³⁴ Berichtswerte HCB aus EE 2004: 0,034 kg

³⁵ Berichtswerte HCB aus EE 2004: 0,186 kg

³⁶ Gesamtemission HCB inkl. ^{34, 35}: 0,5 kg

die AR für die Prognosejahre analog zur AR des Bezugsjahres 2004 über einen Faktor von 0,43 t Anodenmaterial je t Hüttenaluminium berechnet (vgl. Kapitel 3.9).

Für die Sektoren Färben und Endbehandeln von Textilien und Leder und die chemische Industrie können mangels AR keine Emissionsprognosen berechnet werden.

Kapitel 4.1 beinhaltet die Prognosen für PCDD/PCDF und in Kapitel 4.2 sind die Prognosen für B(a)P und PAH zusammengefasst. Es wird in diesen Kapiteln vornehmlich auf die Emissionsprognosen der Hauptquellgruppen dieser Schadstoffe näher eingegangen.

In Kapitel 4.3 wird außerdem ein Wachstums-Szenario für einen angenommenen weiterhin steigenden Holzverbrauch in Kleinfeuerungsanlagen der HH und UEKV mittels MC-Simulation berechnet.

Aufgrund der unzureichenden Datenlage werden keine Prognosen für PCB- und HCB-Emissionen berechnet.

4.1. Emissionsprognosen für PCDD/PCDF

In Abbildung 1 sind die berechneten PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die verschiedenen Quellkategorien aggregiert dargestellt.

Die dieser Abbildung zugrunde liegenden Werte sind Tabelle 103 in Anhang A 4 zu entnehmen.

Insgesamt gehen die PCDD/PCDF-Emissionen von ca. 127 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 108 g I-TE im Jahr 2020 zurück. Die Hauptemittenten bleiben mit den Sektoren metallurgische Industrie, offene Verbrennung, häusliche Verbrennungsquellen, Feuerungsanlagen, Transport und Verkehr und thermische Abfallbehandlung für die Prognosejahre dieselben wie im Bezugsjahr 2004.

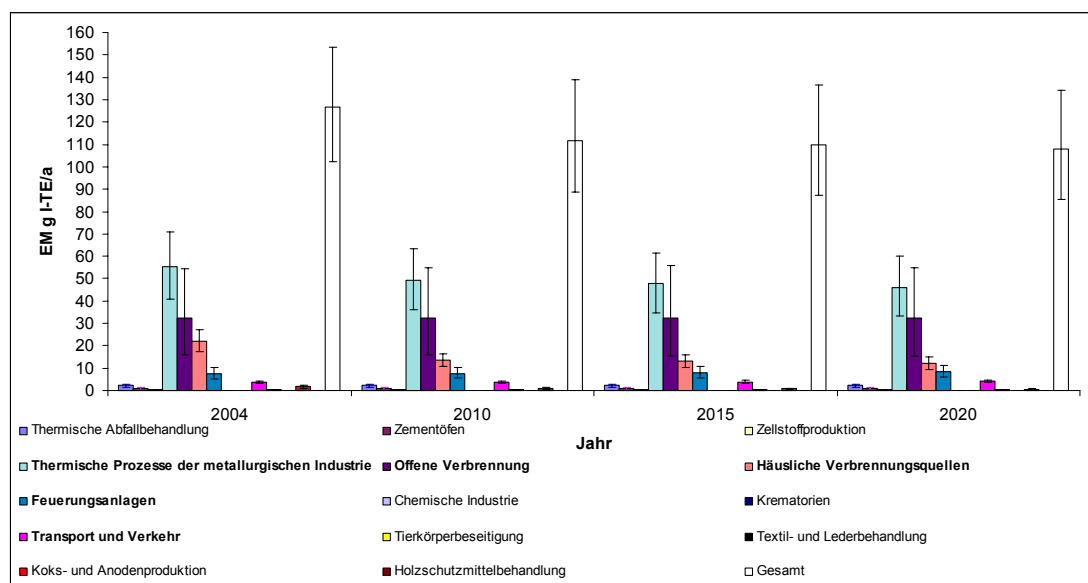


Abbildung 1: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen aggregiert für die verschiedenen Quellkategorien

Die Emissionen der o.g. Hauptquellgruppen sind in den folgenden Abbildungen nochmals nach deren Untergruppen aufgeschlüsselt dargestellt. Die den folgenden Abbildungen zugrunde liegenden Werte sind in Tabelle 104 in Anhang A 4 zusammengefasst.

Abbildung 2 zeigt die Emissionsprognosen der thermischen Abfallbehandlung, differenziert nach Siedlungs- und Industrieabfällen, Klärschlamm- und Altholzbehandlung. Dem ZSE [62] können Prognosen für die Aktivitätsraten von Siedlungsabfällen und Industrieabfällen in TJ entnommen werden. Wie bei der Berechnung der Emissionen des Bezugsjahres 2004 (vgl. Kapitel 3.1), entspricht auch bei den Prognosen der Berichtswert der in t umgerechneten Menge an Abfällen unter Annahme eines mittleren Heizwertes von 10.175 kJ/kg für Siedlungsabfälle und 19.494 kJ/kg für Industrieabfälle. Zur Emissionsberechnung mittels Monte Carlo Simulation werden die Abweichungen der prognostizierten ZSE-Aktivitätsraten sukzessive erhöht von +/- 1 % im Jahr 2004 über +/- 1,4% im Jahr 2010, +/- 1,7 % im Jahr 2015 auf +/- 2 % im Jahr 2020.

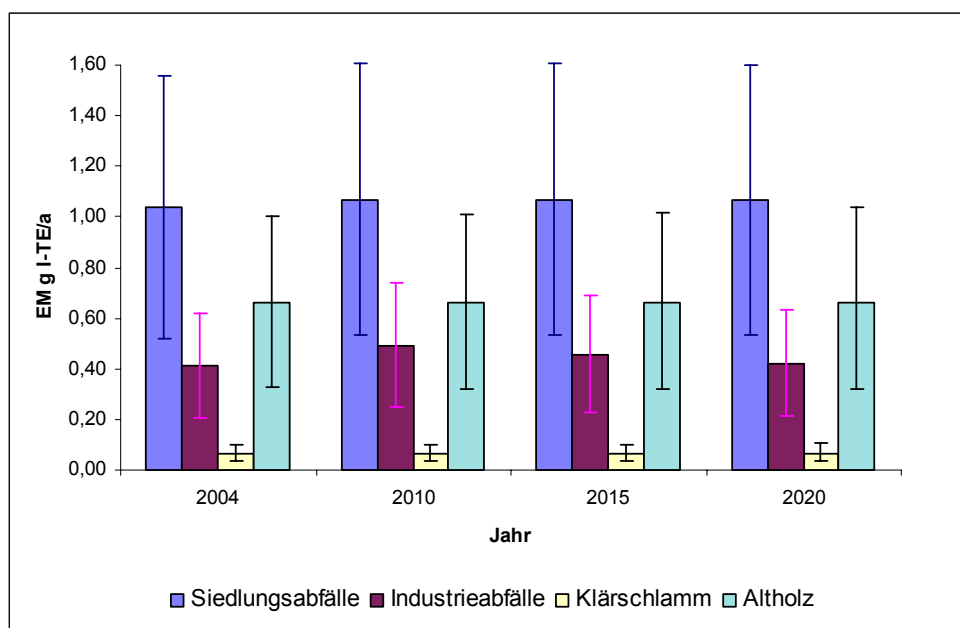


Abbildung 2: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen der thermischen Abfallbehandlung

Die prognostizierte AR der Siedlungsabfälle steigt leicht an von etwa 17,3 Mio. t im Jahr 2004 auf etwa 17,8 Mio. t im Jahr 2010 und bleibt bis 2020 auf diesem Niveau. Bei den Industrieabfällen steigt die AR von etwa 6,8 Mio. t im Jahr 2004 auf etwa 8,2 Mio. t im Jahr 2010 und fällt bis zum Jahr 2020 wieder auf etwa 7 Mio. t. Es können dem ZSE [62] keine Prognosen für die Aktivitätsraten der thermischen Behandlung von Klärschlämmen und Altholz entnommen werden. Diese werden daher für die Berechnung der Emissionsprognosen als konstant angenommen und es werden lediglich die Unsicherheiten der AR zur Berechnung der Emissionen von +/- 10 % im Jahr 2004 auf +/- 14 % im Jahr 2010, +/- 17% im Jahr 2015 und +/- 20% im Jahr 2020 erhöht. Insgesamt bleiben die Emissionen der thermischen Abfallbehandlung bei etwa 2,2 g I-TE (vgl. Abbildung 1). Hauptemittenten für die Prognosejahre ist durchgängig die thermische Behandlung von Siedlungsabfällen mit in etwa 1 g I-TE/a (vgl. Abbildung 2).

In Abbildung 3 sind die Emissionsprognosen für GFA, TA Luft-Anlagen und Gasturbinen/Verbrennungsmotoren dargestellt. Die PCDD/PCDF-Emissionen der Feuerungsanlagen steigen insgesamt von etwa 7,5 g I-TE im Jahr 2004 auf ca. 8,4 g I-TE im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 1). Hauptemittenten sind auch für die Prognosejahre die Großfeuerungsanlagen, deren Emissionen größtenteils aus der Steinkohlefeuerung stammen. Insgesamt steigen die Emissionen der GFA von ca. 4,7 g I-TE im Jahr 2004 auf 5,3 g I-TE im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 3), wobei etwa 3,7 g I-TE im Jahr 2004 und 4,4 g I-TE im Jahr 2020 auf die Steinkohlefeuerungen zurückgehen (vgl. Abbildung 4). Die Emissionen der TA Luft-Anlagen steigen von ca. 2,7 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 3 g I-TE im Jahr 2020 an (vgl. Abbildung 1). Hauptemittenten sind hier die Holzfeuerungen in Biomassekraftwerken, deren Emission in den Prognosejahren jeweils etwa 1,7 g I-TE/a

beträgt (vgl. Abbildung 5). In Abbildung 4 und Abbildung 5 wurden die verschiedenen Kohlearten jeweils zusammengefasst zu Braunkohle und Steinkohle. Zur Emissionsberechnung mittels Monte Carlo Simulation wurden die Abweichungen der AR der prognostizierten ZSE-Aktivitätsraten sukzessive erhöht von +/- 1 % im Jahr 2004 über +/- 1,4% im Jahr 2010, +/- 1,7 % im Jahr 2015 auf +/- 2 % im Jahr 2020. Die AR der Feuerungen mit Holz, Pflanzenöl und Biogas in Biomasse-kraftwerken stammen aus [54] und werden mit Abweichungen von +/- 10% im Jahr 2004, +/- 14% im Jahr 2010, +/- 17 % im Jahr 2015 und +/- 20 % im Jahr 2020 belegt.

Seit dem Jahr 2000 hat sich mit dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [40] im Juli 2004, der Altholzverordnung im März 2003 [43] und der Biomasseverordnung (BiomasseV) [44] im Juni 2001 die Anzahl der Biomasseverstromungsanlagen nahezu verdreifacht. Für die zukünftige Entwicklung des Einsatzes von Altholz wie auch naturbelassener Hölzer in Biomassekraftwerken liegen derzeit keine ausreichenden Anhaltspunkte vor, weshalb diese AR, wie auch die von Pflanzenöl und Biogas für die Prognosejahre als konstant angenommen werden und lediglich deren Abweichungen sukzessive erhöht werden (s.o.).

Erwähnenswerte Abnahmen der ZSE-AR sind bei den GFA bei den Brennstoffen Erdgas, Gichtgas, schwerem Heizöl und Heizöl EL zu verzeichnen. Ausschlaggebend für die Zunahme der PCDD/PCDF-Emissionen der Feuerungsanlagen ist der Anstieg der AR von Steinkohle in GFA um knapp 19% und in TA Luft-Anlagen um etwa 52% bis zum Jahr 2020. Insgesamt nehmen die AR der GFA um knapp 2% zu bis 2020, die ZSE-AR der TA Luft-Anlagen insgesamt um etwa 3% und die der Gasturbinen und Verbrennungsmotoren insgesamt um etwa 20% (vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4).

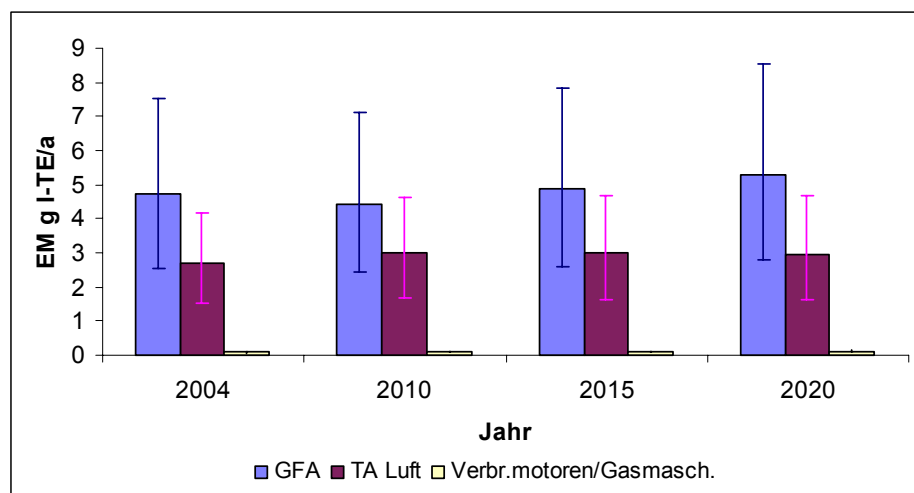


Abbildung 3: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Feuerungsanlagen

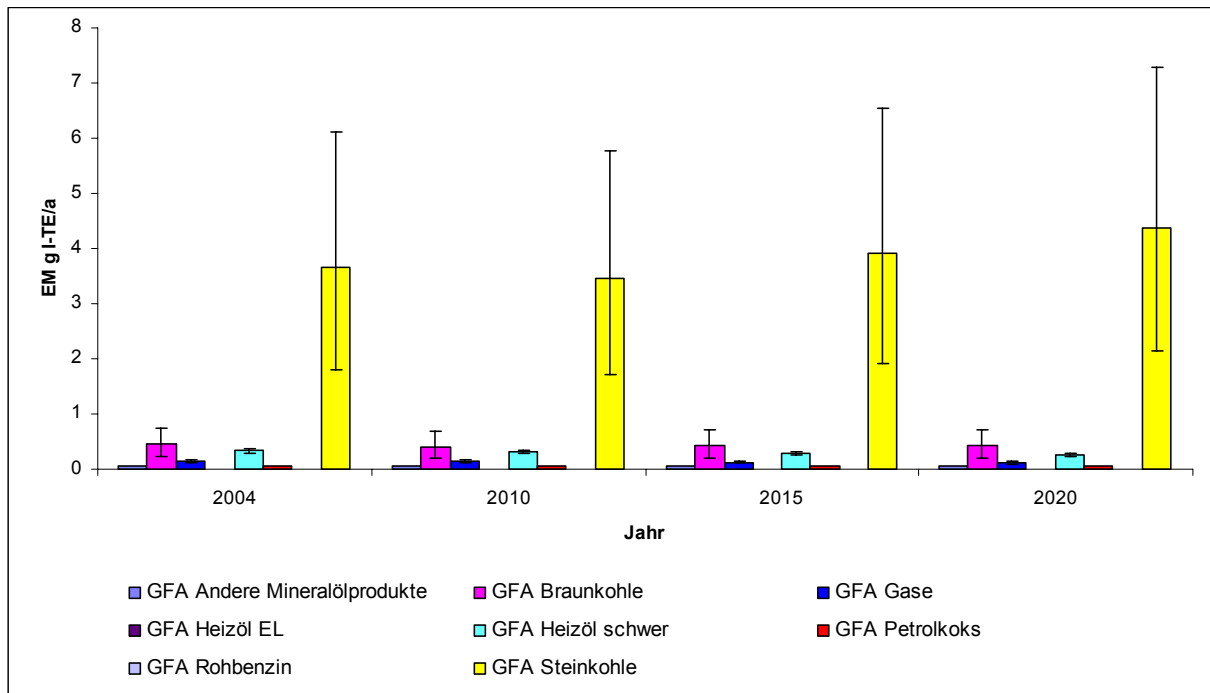


Abbildung 4: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Großfeuerungsanlagen, differenziert nach Brennstoffen.

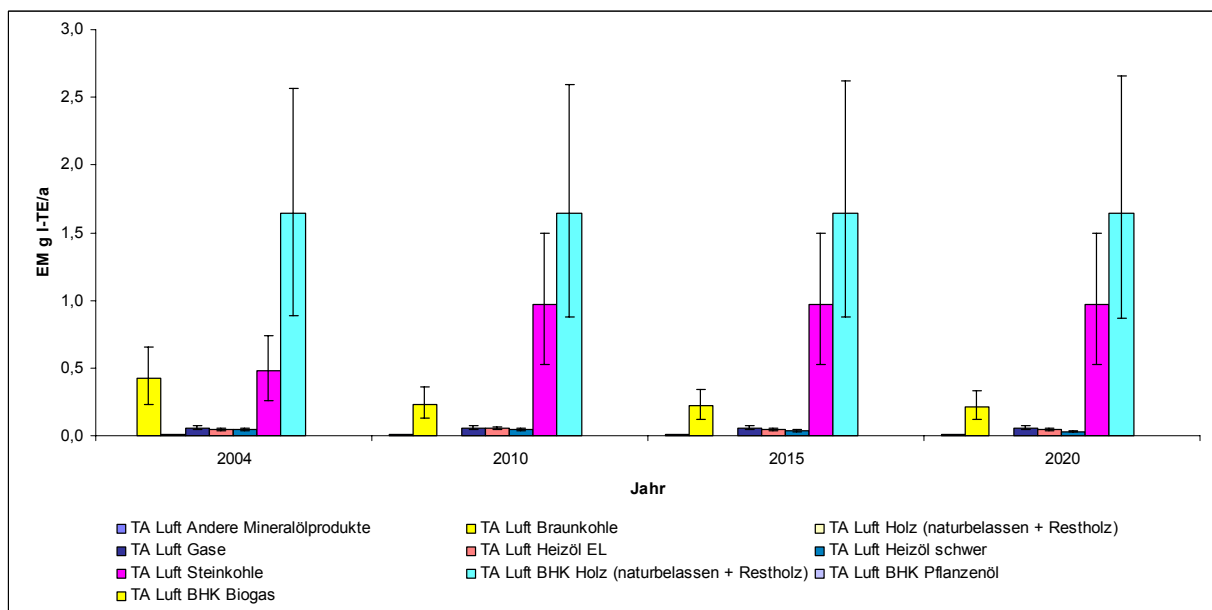


Abbildung 5: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für TA Luft-Anlagen, differenziert nach Brennstoffen.

In

Abbildung 6 sind die PCDD/PCDF-Emissionenprognosen der verschiedenen Quellsektoren der metallurgischen Industrie dargestellt. Unter „Übrige“ wurden die Emissionen der Untergruppen Eisen-, Stahl- und Temperguß, der Roheisenproduktion sowie mit Ausnahme der Produktion von Kupfer aus sekundären Vorstoffen, die Emissionen der NE-Metallproduktion, zusammengefasst.

Insgesamt sinken die PCDD/PCDF-Emissionen der metallurgischen Industrie von ca. 55 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 46 g I-TE im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 1). Hauptemittent sind auch für die Prognosejahre die Sinteranlagen, deren Emissionen aufgrund sinkender AR von knapp 42 g I-TE im Jahr 2004 um ca. 24 % auf etwa 32 g I-TE im Jahr 2020 fallen. Einzig die AR und EM der Elektrostahlproduktion erfahren bis zum Jahr 2020 einen leichten Anstieg, die AR und EM der übrigen Untergruppen der metallurgischen Industrie fallen bzw. bleiben auf konstantem Niveau (vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4).

Zur Emissionsberechnung mittels Monte Carlo Simulation werden die Abweichungen der AR der prognostizierten ZSE-Aktivitätsraten sukzessive erhöht von +/- 1 % im Jahr 2004 über +/- 1,4% im Jahr 2010, +/- 1,7 % im Jahr 2015 auf +/- 2 % im Jahr 2020.

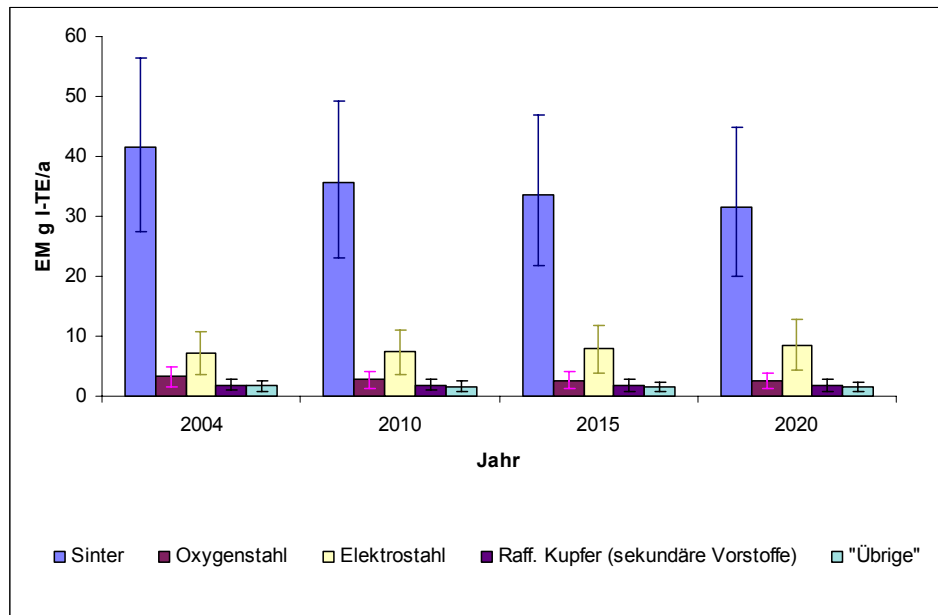


Abbildung 6: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die metallurgische Industrie.

In Abbildung 7 sind die Prognosen für die PCDD/PCDF-Emissionen der offenen Verbrennung dargestellt. Zur Berechnung der Prognosen standen keine Informationen für die zukünftige Entwicklung der AR zur Verfügung, weshalb die AR des Bezugsjahres 2004 verwendet wurden und lediglich die Abweichungen der AR von +/- 10% im Jahr 2004 auf +/- 14 % im Jahr 2010, +/- 17 % im Jahr 2015 auf +/- 20% im Jahr 2020 erhöht wurden für die Berechnung. Ausnahmen stellen die Waldbrände dar, hier wurde im Jahr 2004 eine Abweichung von +/- 25 % angenommen, im Jahr 2010 von +/- 34%, 2015 von +/- 42 % und im Jahr 2020 von +/- 50%. Bei der offenen Verbrennung von Biomasse und der illegalen Müllverbrennung wurden aufgrund der schlechten Datenlage die uniformen Verteilungen und Minima und Maxima der AR aus 2004 übernommen (vgl. Kapitel 3.14). Insgesamt bleiben folglich die mittleren Emissionen für die Prognosejahre konstant bei ca. 32 g I-TE (vgl. Abbildung 1) und ebenso leisten die Brandunfälle von Industrieanlagen mit 17 g I-TE weiterhin den größten Beitrag. Der unzureichenden Datengrundlage im Bereich der AR der offenen Verbrennung wird versucht mittels der hohen Abweichungen Rechnung zu tragen. Unter „Übrige“ wurden in Abbildung 7 die PCDD/PCDF-Emissionen der Brandunfälle von Fahrzeugen, von Waldbränden und der offenen Verbrennung von Biomasse und Parkabfällen zusammengefasst.

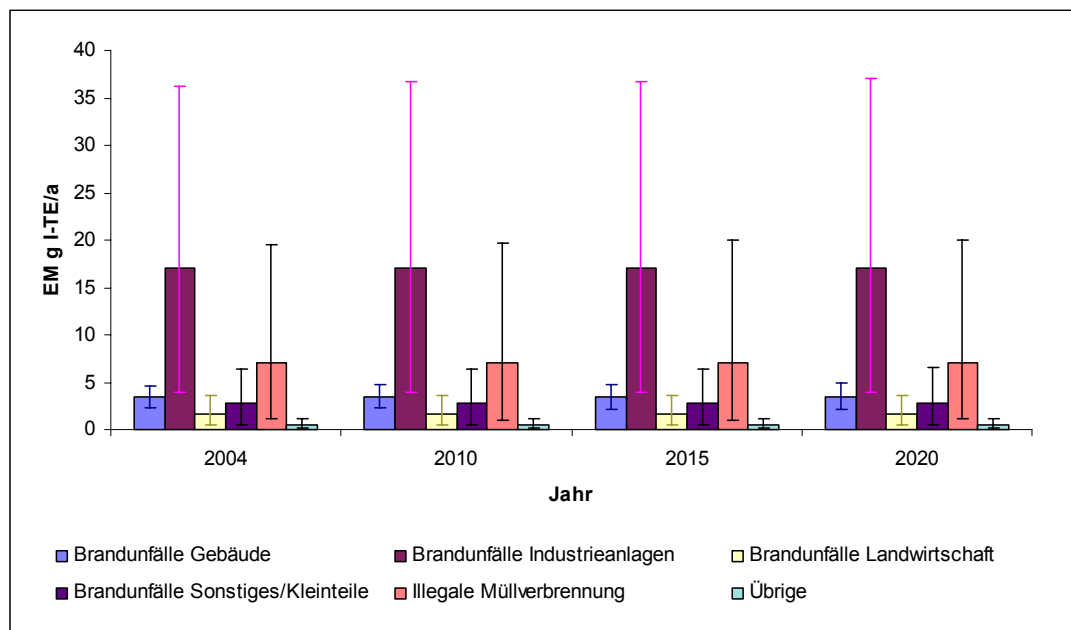


Abbildung 7: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die offene Verbrennung

In Abbildung 8 sind die PCDD/PCDF-Emissionen des Sektors Transport und Verkehr für die verschiedenen Fahrzeugklassen treibstoffabhängig dargestellt. Insgesamt steigen die PCDD/PCDF-Emissionen dieses Sektors von etwa 3,6 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 4 g I-TE bis zum Jahr 2020 an (vgl. Abbildung 1). Hauptemittenten des Sektors bleiben bis zum Jahr 2020 die Küsten- und Binnenschifffahrt, deren Anteil an der Gesamtemission des Sektors von etwa 31 % (ca. 1 g I-TE) im Jahr 2004 auf etwa 38 % (ca. 1,5 g I-TE) im Jahr 2020 ansteigt, gefolgt von den SNF mit einem Anteil von ca. 25 % (etwa 0,9 g I-TE) über den gesamten Prognosezeitraum und den PKW mit Dieselmotor (Anstieg der Emissionen von 0,6 g I-TE im Jahr 2004 auf ca. 1 g I-TE im Jahr 2020).

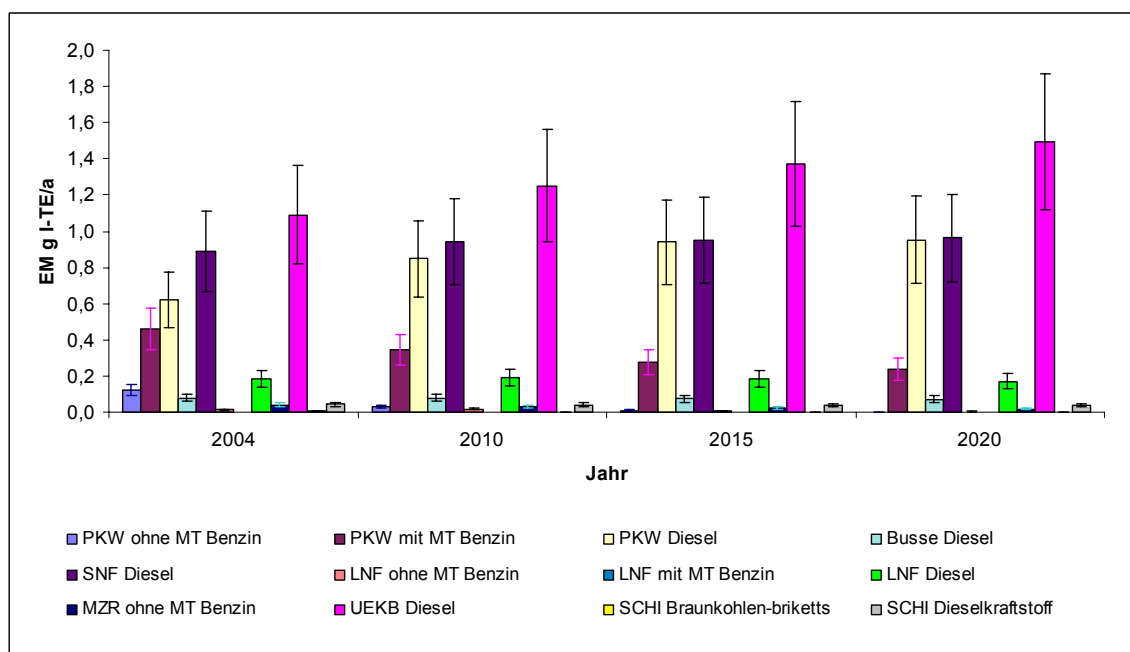


Abbildung 8: Treibstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für den Sektor Transport und Verkehr.

In Abbildung 9 ist die Entwicklung der PCDD/PCDF-Emissionen der HH und UEKV differenziert nach Kessel und Kaminen dargestellt. Den Prognosen wurde die Verteilung der AR der verschiedenen Brennstoffe auf Heizkessel und Öfen aus Tabelle 50 in Kapitel 3.13 zugrunde gelegt.

Die Endenergieverbräuche der HH steigen nach [62] von ca. 2 Mio. TJ im Jahr 2004 um ca. 8% auf etwa 2,2 Mio. TJ im Jahr 2020 an. Eine Zunahme der AR ist vor allem bei den Brennstoffen Erdgas und Heizöl EL zu verzeichnen. Der Holzeinsatz geht nach [62] in Kesseln wie auch Kaminen bei HH und UEKV zurück. Die Endenergieverbräuche der UEKV fallen insgesamt nach [62] von 0,7 Mio. TJ im Jahr 2004 um ca. 10% auf rund 0,6 Mio. TJ im Jahr 2020 (vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4).

Insgesamt gehen die Emissionen der HH und UEKV zurück von knapp 22 g I-TE auf etwa 12 g I-TE im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 1). Eine starke Abnahme der PCDD/PCDF-Emissionen ist in Abbildung 9 insbesondere bei den Kesselanlagen der UEKV zu beobachten (von 9,3 g I-TE im Jahr 2004 auf 1,4 g I-TE im Jahr 2020), was vornehmlich auf den im ZSE prognostizierten starken Rückgang der AR der Resthölzer zurückzuführen ist (vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4 und Abbildung 10). Auch die Emissionen der Kaminfeuerungen der HH gehen zurück von 6,5 g I-TE im Jahr 2004 auf 4,7 g I-TE im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 9). Auch hier ist der in [62] prognostizierte verminderte Holzeinsatz ausschlaggebend für die Emissionsreduktion (vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4 und Abbildung 11).

Die PCDD/PCDF-Emissionen der Kessel der HH bleiben über den Prognosezeitraum rel. konstant bei ca. 6 g I-TE (Abbildung 9). Während im Jahr 2004 auch bei den Kesseln der HH die Brennholz-Emissionen dominieren, sind es ab 2010 die Heizöl-Emissionen, auch hier aufgrund der prognostizierten sinkenden AR des Brennholzes (vgl. Abbildung 12). Die Emissionen aus Kaminen der UEKV und die der mobilen Quellen der HH leisten keinen signifikanten Beitrag zur Gesamtemission dieses Sektors und werden daher hier nicht weiter beleuchtet.

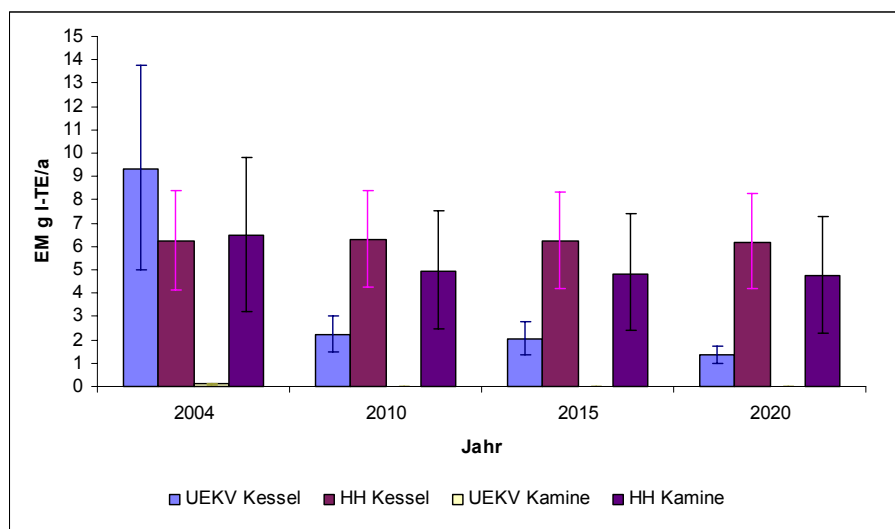


Abbildung 9: PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für die HH und UEKV

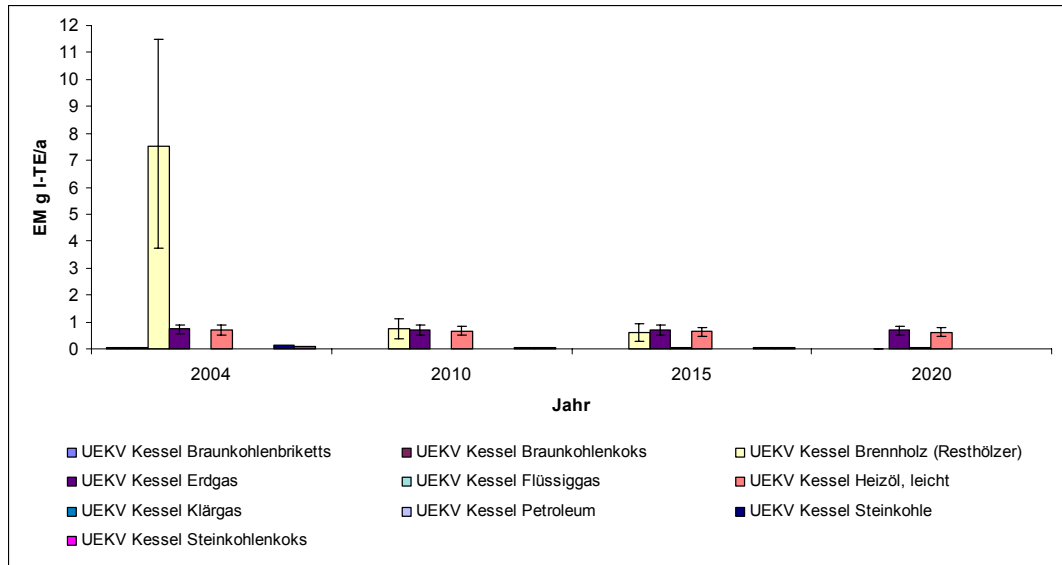


Abbildung 10: Brennstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Kessel der UEKV

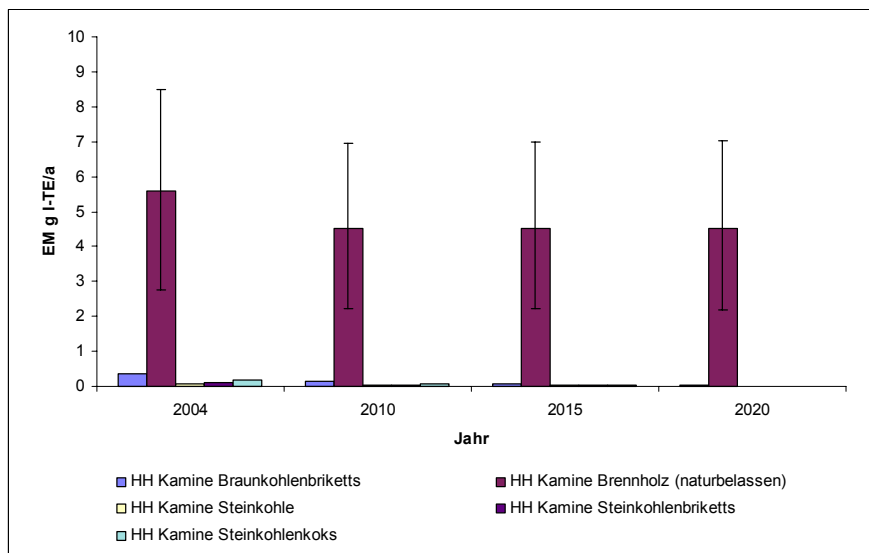


Abbildung 11: Brennstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Kamine der HH.

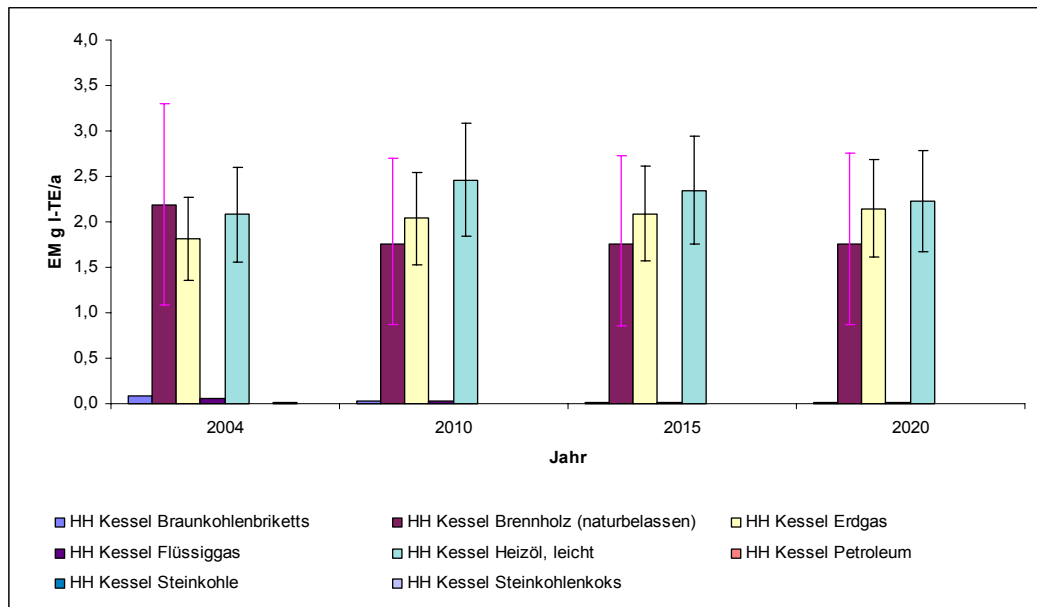


Abbildung 12: Brennstoffspezifische PCDD/PCDF-Emissionsprognosen für Kessel der HH.

Die Prognosen aus dem ZSE lassen den zu erwartenden Anstieg der Holzfeuerungen im Bereich der HH und UEKV bisher außer Acht. Dieser Aspekt, der einen signifikanten Anstieg der PCDD/PCDF-Emissionen aus diesem Sektor erwarten lässt, wird daher in Kapitel 4.3 im Rahmen eines Wachstums-Szenarios mit abgehandelt.

Die Prognosen der PCDD/PCDF-Emissionen aller Sektoren können Tabelle 103 und Tabelle 104 in Anhang A 4 entnommen werden.

4.2. Emissionsprognosen für B(a)P und PAH

Abbildung 13 sind die berechneten B(a)P-Emissionsprognosen für die Quellgruppen des Emissionsinventars aggregiert dargestellt.

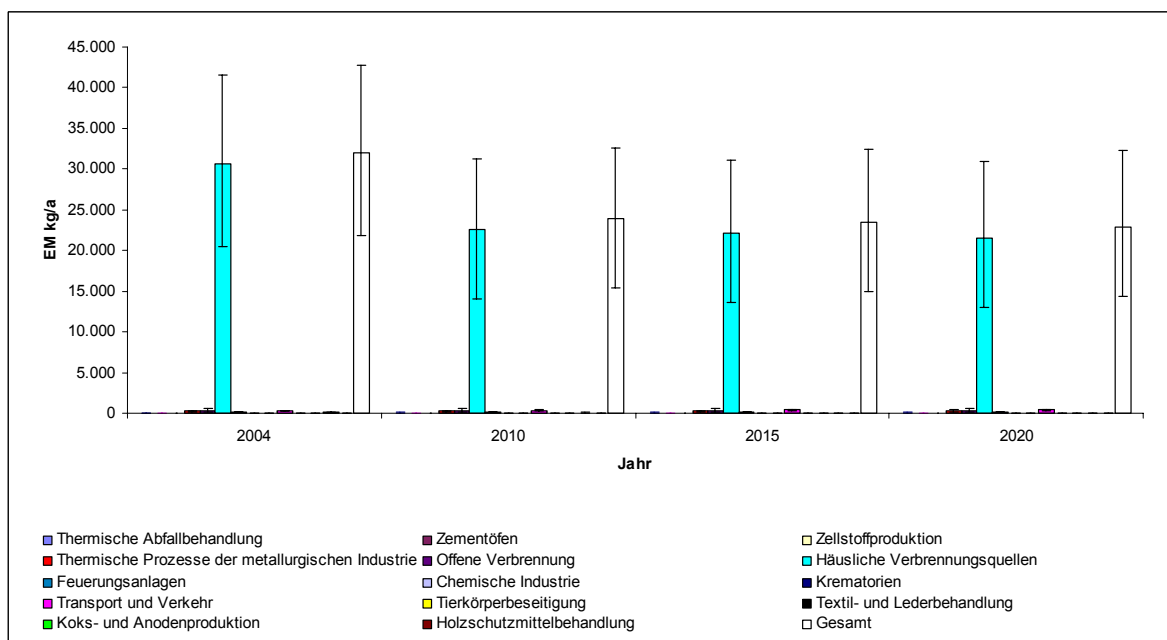


Abbildung 13: B(a)P-Emissionsprognosen der aggregierten Quellgruppen

Insgesamt gehen die B(a)P-Emissionen von ca. 32 t im Jahr 2004 auf knapp 23 t im Jahr 2020 zurück. Hauptquellgruppe für B(a)P sind mit großem Abstand die häuslichen Verbrennungsquellen, sie machen im Jahr 2004 insgesamt etwa 96 % (ca. 31 t) der B(a)P-Gesamtemission aus und in den Prognosen für die Jahre 2010, 2015 und 2020 im Durchschnitt in etwa 94% (ca. 22 t).

Abbildung 13 zugrunde liegenden Werte sind Tabelle 105 in Anhang A 4 zu entnehmen.

Die B(a)P-Emissionsprognosen für die verschiedenen Untergruppen sind in Tabelle 106 in Anhang A 4 zusammengestellt.

In Abbildung 14 sind die Prognosen der B(a)P-Emissionen der HH und UEKV differenziert nach Kesseln und Kaminen dargestellt. Den Prognosen wurde die Verteilung der AR der verschiedenen Brennstoffe auf Heizkessel und Kamine aus Tabelle 50 in Kapitel 3.13 zugrunde gelegt.

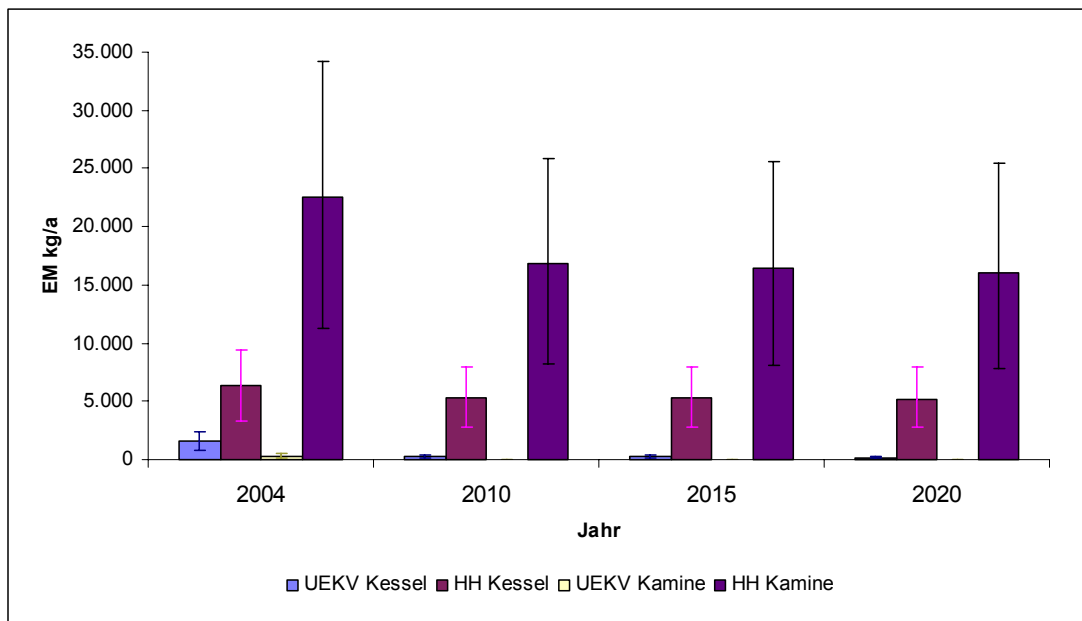


Abbildung 14: B(a)P-Emissionsprognosen für die HH und UEKV

Hauptemittenten für B(a)P des Sektors HH und UEKV sind für die Prognosejahre mit ca. 24% die Kessel der HH und mit ca. 75 % insbesondere die Kaminfeuerungen der Haushalte. Die B(a)P-Emissionen der Kessel der HH gehen von etwa 6 t B(a)P im Jahr 2004 bereits im Jahr 2010 zurück auf ca. 5 t B(a)P und bleiben in etwa auf diesem Niveau bis 2020. Bei den Kaminen der HH gehen die Emissionen von etwa 22 t B(a)P im Jahr 2004 auf ca. 17 t B(a)P im Jahr 2010 zurück und bleiben in etwa auf diesem Niveau bis 2020 (vgl. Abbildung 14). Bei einem insgesamt prognostizierten Anstieg des Endenergieverbrauches der Haushalte ist auch für die B(a)P- und PAH- Emissionen der in [62] prognostizierte sinkende Holzeinsatz ausschlaggebend für das Absinken der Emissionen (vgl. Kapitel 4.1).

Allein knapp 20 t B(a)P-Emissionen der Kamine der HH gehen 2004 auf die Emissionen von Holzfeuerungen der zurück (in etwa 90 % der Emissionen der Kamine der HH) und ca. 5 t B(a)P allein auf die Holzfeuerung der HH in Kesseln (etwa 90 % der Emissionen der Kessel der HH). 2010 sind es noch 16 t B(a)P aus den Holzfeuerung der HH in Kaminen (98 % der Emissionen aus Kaminen der HH) bzw. 4 t B(a)P aus der Holzfeuerung in Kesseln der HH (84 % der Emissionen aus Kesseln der HH) (vgl. Tabelle 106 in Anhang A 4 und Abbildung 15, Abbildung 16).

2004 sind die Braunkohlebriketts mit knapp 2 t B(a)P nach dem Brennholz die zweitgrößten

Emittenten in Kaminen der HH, bis 2020 fallen diese Emissionen auf etwa 200 kg B(a)P (vgl. Abbildung 15).

Die zweitgrößte Emissionsquelle der Kessel der HH sind die Feuerungen mit Heizöl, mit in etwa 700 kg B(a)P im Jahr 2004 (ca. 11 % der Emissionen aus Kesseln der HH) und etwa 750 kg B(a)P im Jahr 2020 (14 % der Emissionen aus Kesseln der HH) (vgl. Abbildung 16).

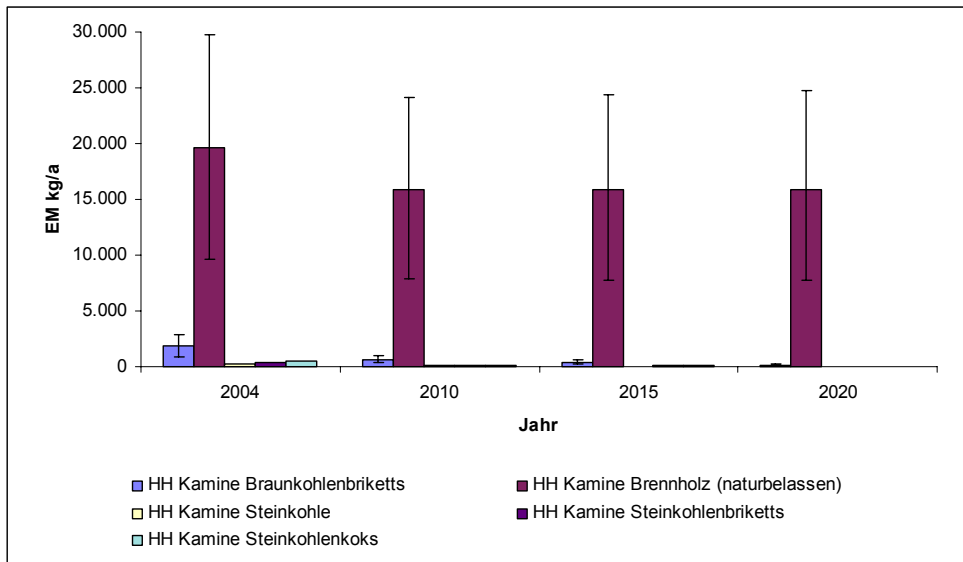


Abbildung 15: Brennstoffspezifische B(a)P-Emissionsprognosen für Kamine der HH

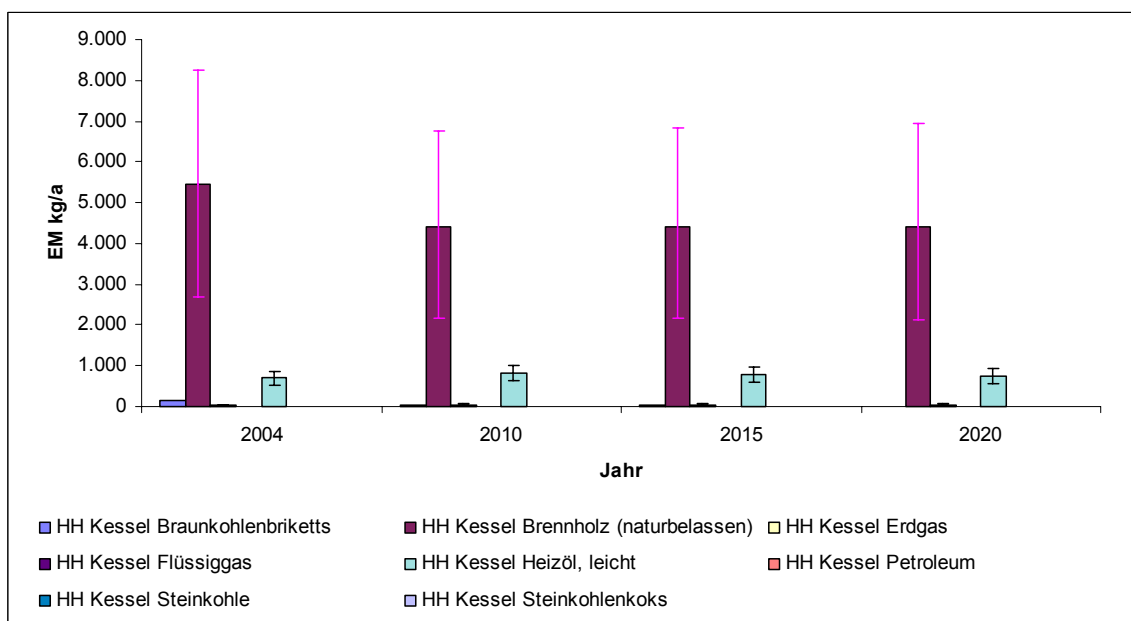


Abbildung 16: Brennstoffspezifische B(a)P-Emissionsprognosen für Kessel der HH

Abbildung 17 sind die Prognosen der PAH-Emissionen aggregiert für die verschiedenen Quellkategorien dargestellt.

Die PAH-Emissionen gehen insgesamt von ca. 97 t im Jahr 2004 auf ca. 71 t im Jahr 2020 zurück. 2004 gehen etwa 86 % der PAH-Emissionen auf die HH und UEKV zurück (in etwa 83 t PAH), 2010 ca. 82 % (etwa 61 t PAH), 2015 etwa 82 % (ca. 60 t PAH) und im Jahr 2020 ebenfalls etwa 82 % (ca. 58 t PAH).

Die Tendenzen der PAH-Prognosen sind prinzipiell dieselben wie bei B(a)P, es treten lediglich die übrigen Quellgruppen neben den HH und UEKV ein wenig mehr in den Vordergrund.

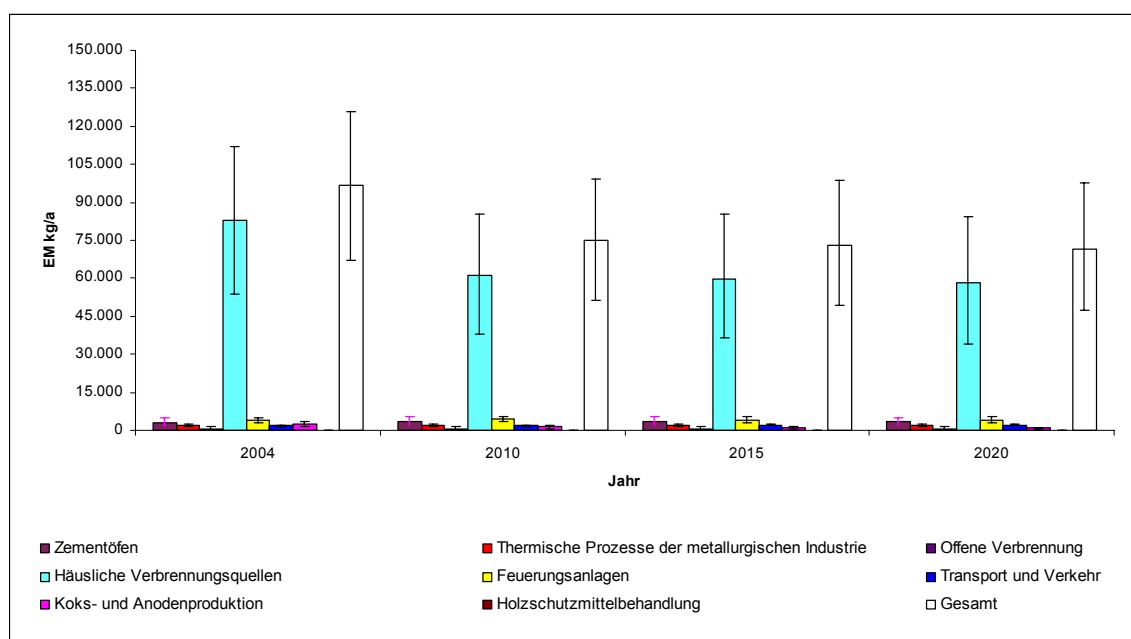


Abbildung 17: PAH-Emissionsprognosen der aggregierten Quellgruppen

In Abbildung 18 sind die Prognosen der PAH-Emissionen der HH und UEKV differenziert nach Kesseln und Kaminen dargestellt. Die PAH-Emissionen der Kamine der HH verursachen mit im Mittel 47 t PAH in den Prognosejahren den größten Anteil der Emissionen (in etwa 80 % der PAH-Emissionen des Sektors), gefolgt von den Kesselanlagen der Haushalte mit im Mittel etwa 12 t PAH in den Prognosejahren (ca. 20 % der Emissionen des Sektors).

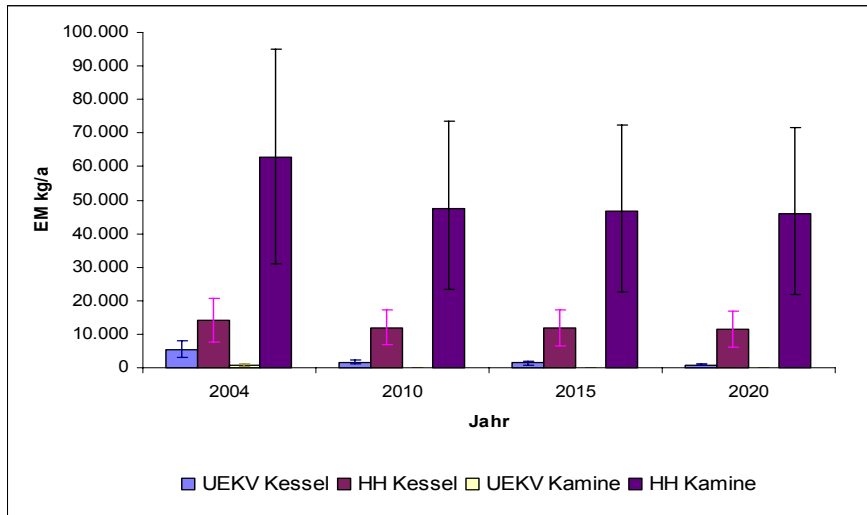


Abbildung 18: PAH-Emissionsprognosen für die HH und UEKV

Die PAH-Emissionen der Kamine der Haushalte sind für die Prognosejahre fast ausschließlich auf die Holzfeuerungen zurückzuführen (vgl. **Abbildung 19**). Während es 2004 bereits 89% (ca. 56 t PAH) sind, steigt der Anteil 2010 auf 95% (ca. 45 t PAH), 2015 auf 97% (ca. 45 t PAH) und im Jahr 2020 auf 99% (ca. 45 t PAH).

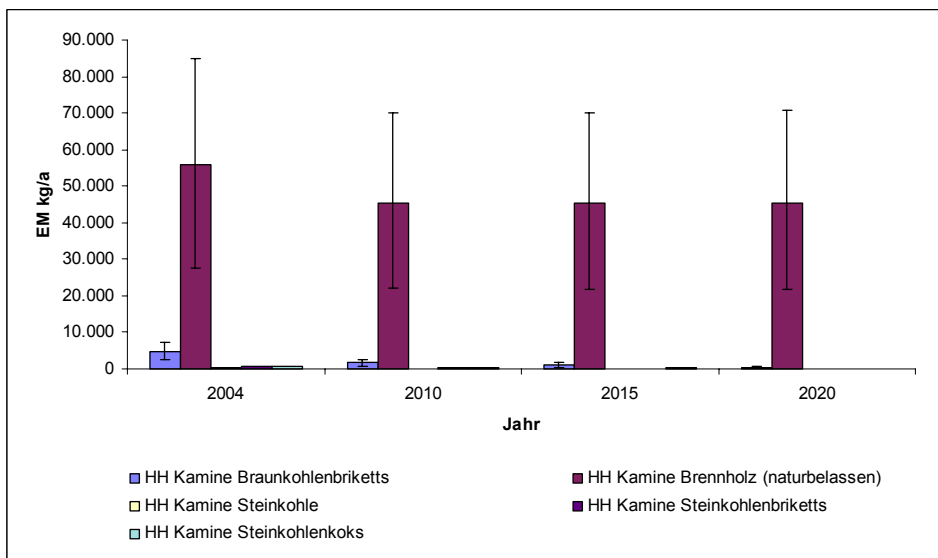


Abbildung 19: Brennstoffspezifische PAH-Emissionsprognosen für Kamine der HH.

Bei den PAH-Emissionen der Kessel der Haushalte treten, ebenso wie bei den B(a)P-Emissionen, die Emissionen aus der Feuerung mit Heizöl stärker in den Vordergrund im Vergleich zu den Kaminen. Der Anteil der Emissionen aus Holzfeuerungen in Kesseln sinkt von etwa 74 % im Jahr 2004 (ca. 10 t PAH) auf etwa 70 % im Jahr 2010 (ca. 8 t PAH), auf 71 % im Jahr 2015 (ca. 8 t PAH) und auf etwa 73 % im Jahr 2020 (8 t PAH) (vgl. Abbildung 20). Die Emissionen aus der Heizölfeuerung in Kesselanlagen der HH nehmen 2004 einen Anteil von 20 % (ca. 3 t PAH), 2010 27 % (3 t PAH), 2015 ebenfalls 27 % (3 t PAH) und 2020 26 % (3 t PAH) der Emissionen aus Kesselanlagen der Haushalte ein (vgl. Abbildung 20).

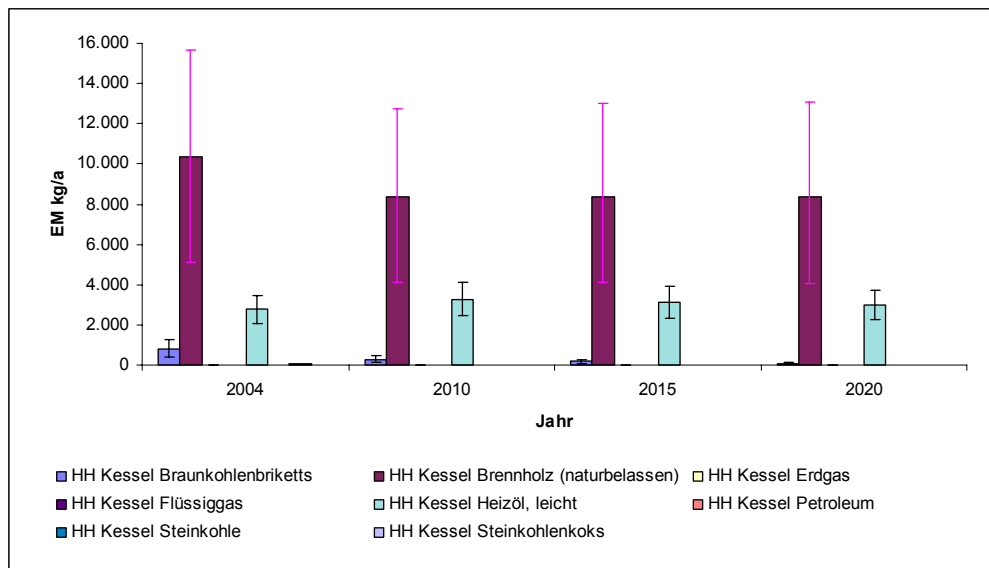


Abbildung 20: Brennstoffspezifische PAH-Emissionsprognosen für Kessel der HH.

Wie bereits in Kapitel 4.1 geschildert, lassen die Prognosen aus dem ZSE den zu erwartenden Anstieg der Holzfeuerungen für die kommenden Jahre im Bereich der HH und UEKV bisher außer Acht. Neben dem zu erwartenden Anstieg der PCDD/PCDF-Emissionen wird in Kapitel 4.3 im Rahmen eines Wachstums-Szenarios für die Holzfeuerungen der HH und UEKV auch die Entwicklung der B(a)P und PAH-Emissionen betrachtet.

Die Prognosen der B(a)P-Emissionen der übrigen Sektoren und Untergruppen können Tabelle 105 und Tabelle 106 und die der PAH-Emissionen Tabelle 107 und Tabelle 108 in Anhang A 4 entnommen werden.

4.3. Wachstums-Szenario Holzfeuerung in KFA (Szenario 1)

Die Holzfeuerungen der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher stellen im Bezugsjahr 2004 wie auch den Prognosen bis 2020 die Hauptemittenten von insbesondere B(a)P und PAH dar (vgl. Tabelle 67 und Tabelle 68) und machen einen großen Anteil der PCDD/PCDF-Gesamtemissionen aus (vgl. Tabelle 69).

Die Entwicklung des gesamten Emissionsaufkommens dieser Schadstoffe hängt somit in großem Maße von der Entwicklung des Verbrauches an Holzbrennstoffen wie auch der Entwicklung der Emissionsfaktoren der Holzfeuerungen ab.

Das nachfolgend vorgestellte Wachstums-Emissionsszenario (Szenario 1) stellt die Entwicklung des Emissionsaufkommens für PCDD/PCDF, B(a)P und PAH der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher für den Zeitraum 2004 bis 2020 dar, unter der Annahme eines ansteigenden Holzverbrauches und konstanten EF.

Erst in dem in Kapitel 5.3 vorgestellten Maßnahmen-Szenario für die Holzfeuerungen (Szenario 2) wird die bei Umsetzung von möglichen Maßnahmen in Anlagen der HH und UEKV zu erwartende Minderung der Emissionsfaktoren mit berücksichtigt.

Die Aktivitätsraten der Kleinf Feuerungsanlagen des Militärs (vgl. Kapitel 3.13) wurden in Szenario 1 und Szenario 2 vernachlässigt.

Ausgangspunkte der nachfolgenden Prognosen stellen die brennstoffspezifischen Endenergieverbräuche der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher für das Jahr 2004 [62], die gerätebezogenen Endenergieverbräuche [47], sowie die im Rahmen einer Literaturstudie hier ermittelten Emissionsfaktoren für die Emittentengruppen Heizkessel und Kamine/Öfen in Haushalten und übrigen Kleinverbrauch dar.

Als Referenzszenario dient die Emissionssituation des Jahres 2004 mit den zugehörigen ermittelten Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 3.13).

Prognose der Endenergieverbräuche

In der Datenbank ZSE [62] des Umweltbundesamtes wird insgesamt eine durchschnittliche Zunahme der Endenergieverbräuche (EV) der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher von 0,2% pro Jahr bis zum Jahr 2020 angenommen. Ausgehend vom Jahr 2004 entspricht das insgesamt einer Zunahme von 3,2% bis zum Jahr 2020. Bei getrennter Betrachtung der AR der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher ergibt sich ein Anstieg der EV der Haushalte von durchschnittlich 0,5% pro Jahr und ein Absinken der EV der übrigen Kleinverbraucher um durchschnittlich 0,7% pro Jahr. Diese Entwicklung der EV aus dem ZSE wird für das Wachstums-Szenario angenommen. Die Berechnungen werden für das Szenario 1 auf Basis einer getrennten Betrachtung der HH und UEKV vorgenommen.

Es wird weiterhin angenommen, dass die geschilderten Entwicklungen der Endenergieverbräuche sich gleichmäßig auf die Struktur des Energiemix im Jahr 2004 verteilen.

Zusätzlich wird eine Verschiebung des Energiemix hin zu einem verstärkten Einsatz von Holzbrennstoffen hier angenommen, dessen Ausmaß aus der Fortschreibung vergangener Entwicklungen abgeleitet wird.

In Tabelle 72 ist die Entwicklung der Endenergieverbräuche der Jahre 2000 bis 2005 für die verschiedenen eingesetzten Brennstoffe für Haushalte und übrige Kleinverbraucher aus verschiedenen Literaturquellen ([47], [62], [56], [66]) zusammengestellt.

Die kursiv gedruckten Werte aus den Quellen [47] und [56] in Tabelle 72 basieren zum Teil auf Prognosen aufbauend auf Daten aus dem Jahr 1995 bzw. 2000.

Tabelle 72: Entwicklung der brennstoffspezifischen Endenergieverbräuche der Jahre 2000 bis 2005 der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | pro Jahr Ø |
|----------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|------------------|---------------|
| | [TJ] | [TJ] | [TJ] | [TJ] | [TJ] | [TJ] | [%] |
| Brennholz | | | | | | | |
| Pfeiffer, 2000 [47] | <i>119.932*</i> | | | | | <i>125.030*</i> | 0,85 |
| ZSE, 2005 [62] | 185.939 | 209.239 | 204.403 | 216.482 | 215.514 | | 3,98 |
| Struschka, 2003 [56] | 205.384 | | | | | <i>241.000**</i> | 3,47 |
| VIK, 2006 [66] | 175.000 | 201.000 | 196.000 | 205.000 | 208.000 | | 4,71 |
| Steinkohle | | | | | | | |
| Pfeiffer, 2000 [47] | <i>23.618*</i> | | | | | <i>15.271*</i> | -7,1 |
| ZSE, 2005 [62] | 28.072 | 30.623 | 32.615 | 10.733 | 7.985 | | -17,9 |
| Struschka, 2003 [56] | 11.574 | | | | | <i>8.722**</i> | -4,9 |
| VIK, 2006 [66] | 32.000 | 34.000 | 36.000 | 36.000 | 38.000 | | 4,7 |
| Braunkohlenbriketts | | | | | | | |
| Pfeiffer, 2000 [47] | <i>52.406*</i> | | | | | <i>34.732*</i> | -6,7 |
| ZSE, 2005 [62] | 25.659 | 25.919 | 22.477 | 19.636 | 16.639 | | -8,8 |
| Struschka, 2003 [56] | 21.000 | | | | | <i>5.566**</i> | -14,7 |
| VIK, 2006 [66] | 26.000 | 26.000 | 23.000 | 20.000 | 17.000 | | -8,7 |
| Heizöl | | | | | | | |

* Prognosewert, aufbauend auf Daten aus dem Jahr 1995

** Prognosewert, aufbauend auf Daten aus dem Jahr 2000

| | | | | | | | |
|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------|
| Pfeiffer, 2000 [47] | 1.295.630* | | | | | 1.212.804* | -1,3 |
| ZSE, 2005 [62] | 1.028.214 | 1.198.760 | 1.055.628 | 1.024.732 | 928.976 | | -2,4 |
| Struschka, 2003 [56] | 1.005.427 | | | | | 927.985** | -1,5 |
| VIK, 2006 [66] | 1.062.000 | 1.238.000 | 1.090.000 | 1.058.000 | 959.000 | | -2,4 |
| Erdgas | | | | | | | |
| Pfeiffer, 2000 [47] | 1.458.057* | | | | | 1.501.529* | 0,6 |
| ZSE, 2005 [62] | 1.322.139 | 1.451.405 | 1.429.952 | 1.514.239 | 1.498.456 | | 3,3 |
| Struschka, 2003 [56] | | | | | | | |
| VIK, 2006 [66] | 1.393.000 | 1.530.000 | 1.509.000 | 1.594.000 | 1.577.000 | | 3,3 |

In allen 4 Literaturquellen der Tabelle 72 wird ein Anstieg des Holz- und Erdgasverbrauches verzeichnet sowie ein Rückgang der Verbräuche von Steinkohle, Braunkohle und Heizöl. Eine Ausnahme stellt die VIK³⁷-Statistik in Bezug auf den Steinkohleverbrauch dar, hier wird ein Anstieg von 1995 bis 2000 berichtet.

Der verhältnismäßig geringe Anstieg des Holzverbrauches der Quelle [47] ist darauf zurückzuführen, dass es sich dabei um ältere Prognosen aus dem Jahr 1995 handelt.

Im folgenden Szenario wird die Annahme getroffen, dass sich für den Brennstoff Holz die Entwicklung der Jahre 2000 bis 2005 verstärkt fortsetzen wird, weshalb für die Fortschreibung der Endenergieverbräuche von Holz bis zum Jahr 2020 eine jährliche Zuwachsrate von 5 % angenommen wird. Es wird weiterhin vereinfachend angenommen, dass sich dieser Zuwachs in einem entsprechenden Rückgang der Aktivitätsrate der Heizölf Feuerungen niederschlägt. Diese Annahme wird vor allem auch im Hinblick auf die voraussichtlich steigenden Heizölpreise (vgl. [13], [9, S. 301]) getroffen.

In der Energieeinsparverordnung (EnEV) in der Fassung vom 2. Dezember 2004 ist in §9 außerdem der Ersatz von Öl- und Gas- Heizkesseln, die vor 1978 errichtet wurden, bis 2006 (3 - 4 Mio. Anlagen in Deutschland) festgelegt, was zusätzlich ein Potenzial darstellt für die Installation neuer Holzfeuerungsanlagen (vgl. [7, S. 20]).

Annahmen für Szenario1 und Szenario 2:

- Die jährliche Zuwachsrate der Wärmegewinnung durch Holzfeuerungen beträgt 5 % pro Jahr.
- Die Zunahme im Bereich der Holzfeuerungen erfolgt auf Kosten der Wärmegewinnung mit Heizöl.

Zusätzliche Annahmen für das Wachstums-Szenario (Szenario1):

- Die Emissionsfaktoren bleiben konstant über den Betrachtungszeitraum.
- Der Endenergieverbrauch der Haushalte steigt jährlich um 0,5% an, der der übrigen Kleinverbraucher sinkt um 0,7% pro Jahr (vgl. [62]). Anstieg und Abfall verteilen sich gleichmäßig auf die verschiedenen Brennstoffarten.

Ergebnisse Szenario 1

Tabelle 73 zeigt die Ergebnisse des geschilderten Wachstums-Emissionsszenarios für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher. Die Berechnungen wurden mittels MC-Simulation durchgeführt (vg. Kapitel 2.2).

Unter den getroffenen Annahmen kommt es bis zum Jahr 2020 quasi zu einer Verdoppelung der B(a)P, PAH- und PCDD/PCDF-Emissionen aus dem Jahr 2004 (vgl. Tabelle 67, Tabelle 68 und Tabelle 69 in Kapitel 3.15).

³⁷ Verband der Industriellen Energie und Kraftwirtschaft e.V.

Tabelle 73: Emissionsentwicklung der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher unter den Bedingungen des Emissionsszenario 1.

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| B(a)P [kg/a] | 26.450 | 40.612 | 55.338 | 32.702 | 51.636 | 72.057 | 41.405 | 65.994 | 92.982 |
| PAH [kg/a] | 63.385 | 103.518 | 145.330 | 78.816 | 131.428 | 187.433 | 105.341 | 175.675 | 252.258 |
| PCDD/PCDF [g/a] | 20,4 | 27,0 | 33,7 | 24,0 | 32,3 | 41,2 | 28,4 | 39,2 | 50,5 |

Die den Werten aus Tabelle 73 zugrunde liegenden prognostizierten Entwicklungen der AR von Holzbrennstoffen, Heizöl, Kohle und Gas der HH und UEKV können Tabelle 109 in Anhang A 5 entnommen werden. Die Unsicherheiten der AR wurden für die Festbrennstoffe ausgehend von +/- 10 % im Jahr 2004 erhöht auf +/- 14 % im Jahr 2010, +/- 17 % im Jahr 2015 und +/- 20 % im Jahr 2020 und für die gasförmigen und flüssigen Brennstoffe ausgehend von +/- 1 % im Jahr 2004 erhöht auf +/- 1,4 % im Jahr 2010, +/- 1,7 % im Jahr 2015 und +/- 2 % im Jahr 2020. Als Verteilungstyp wurde durchgängig die Normalverteilung angenommen. Die Emissionsfaktoren, deren Abweichungen und Verteilungstypen wurden als konstant angenommen und entsprechen denen des Bezugsjahres 2004 (vgl. Kapitel 3.13).

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Prognosen

Die mit Hilfe der prognostizierten Aktivitätsraten aus dem ZSE [62] berechneten Emissionsprognosen in Kapitel 4.1 und 4.2 ergeben insgesamt eine leichte Abnahme der PCDD/PCDF-, B(a)P- und PAH-Emissionen bis zum Jahr 2020. Alle dort dargestellten Änderungen der Emissionen für die Prognosejahre ergeben sich ausschließlich aus den veränderten Aktivitätsraten. Grundsätzlich bleiben die Hauptquellgruppen des Referenzjahres 2004 weiterhin bestehen, lediglich ihr Beitrag zur Gesamtemission ändert sich über den Prognosezeitraum.

Die PCDD/PCDF-Emissionen der Feuerungsanlagen steigen an von etwa 7,5 g I-TE auf ca. 8,4 g I-TE im Jahr 2020. Die Emissionen des Sektors Transport und Verkehr steigen an von ca. 3,6 g I-TE im Jahr 2004 auf ca. 4,1 g I-TE im Jahr 2020; dieser Anstieg ist vornehmlich in dem Anstieg der Emissionen der Küsten- und Binnenschifffahrt von ca. 1,1 g I-TE auf etwa 1,5 g I-TE begründet. Die Emissionen der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher gehen von 22 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 12 g I-TE zurück im Jahr 2020, was insbesondere auf den im ZSE [62] prognostizierten Rückgang der Aktivitäten der Holzbrennstoffe zurückzuführen ist.

Die geschätzten mittleren PCDD/PCDF-Emissionen der offenen Verbrennung bleiben über die Prognosejahre näherungsweise konstant bei etwa 32 g I-TE. Die Emissionen der metallurgischen Industrie fallen von ca. 55 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 46 g I-TE im Jahr 2020, insbesondere fallen die Emissionen der Sinteranlagen von knapp 42 g I-TE im Jahr 2004 auf ca. 32 g I-TE im Jahr 2020.

Die B(a)P-Emissionen der HH und UEKV gehen von etwa 31 t im Jahr 2004 zurück auf ca. 21 t im Jahr 2020 und die der PAH fallen von ca. 83 t auf etwa 58 t.

Die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher und insbesondere deren Holzfeuerungen spielen für die Emissionen von PCDD/PCDF, B(a)P und PAH auch für die Prognosejahre eine sehr wichtige Rolle. Auf Grund dessen wurde in Kapitel 4.3 mittels eines Wachstums-Szenarios (Szenario 1) versucht, die möglichen Auswirkungen eines vermuteten Anstiegs des Holzeinsatzes in KFA auf die POPs-Emissionen darzustellen. Es ergibt sich unter den in Szenario 1 getroffenen Annahmen ein Anstieg der PCDD/PCDF-Emissionen der HH und UEKV auf etwa 39 g I-TE, der B(a)P Emissionen auf ca. 66 t und der PAH-Emissionen auf ca. 176 t bis zum Jahr 2020.

Bezogen auf das gesamte Inventar würde dies einen Anstieg der PCDD/PCDF-Emissionen von knapp 6 % bedeuten von knapp 127 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 135 g I-TE im Jahr

2020. Bei den B(a)P-Emissionen käme es zu einem Anstieg der Emissionen um über 100 % von etwa 32 t im Jahr 2004 auf etwa 67 t im Jahr 2020 und bei den PAH-Emissionen würde der Anstieg der Emissionen von etwa 97 t im Jahr 2004 auf etwa 189 t im Jahr 2020 einem Zuwachs von ca. 95 % entsprechen.

Für die Entwicklung der PCDD/PCDF-Emissionen der nächsten Jahre wird außerdem auch die Ausschöpfung von technischen Möglichkeiten im Bereich der Sinteranlagen und den Kleinf Feuerungsanlagen sowie die Entwicklung der Aktivitäten der offenen Verbrennung ausschlaggebend sein.

Im folgenden Kapitel 5 werden bestehende und geplante Maßnahmen in Bezug auf die Emissionsminderung der genannten Hauptquellgruppen aufgeführt und mit den bei Einsatz der BVT erreichbaren Emissionsminderungen verglichen. Insbesondere ist das Augenmerk in Kapitel 5 auf ein mögliches Emissionsminderungspotential der PCDD/PCDF-Emissionen aus Sinteranlagen und allgemein der Emissionen der KFA zur Holzfeuerung gerichtet.

5. Maßnahmen zur Umsetzung der Verpflichtungen aus dem Stockholmer Abkommen und dem UNECE POPs-Protokoll

Zur Erfüllung der Verpflichtungen, die sich aus dem Stockholmer Abkommen und dem UNECE POPs-Protokoll ergeben, sollen als Teil des Nationalen Implementierungsplanes Maßnahmen zum Einen im Hinblick auf eine weitere Minimierung der Freisetzung und Entstehung unbeabsichtigt gebildeter POPs ergriffen werden (Kapitel 5.1) und zum Anderen die POPs-Emissionsdatenerfassung verbessert werden (Kapitel 5.2).

Zu diesem Zweck werden in diesem Kapitel bestehende Maßnahmen für die in Kapitel 3.15 identifizierten Hauptquellgruppen erläutert und es werden in einigen Fällen Vorschläge für eine weitergehende Maßnahmenplanung gemacht.

In Kapitel 5.3 werden 2 „Maßnahmen-Szenarien“ berechnet (Szenario 2 und Szenario 3). Diese Szenarien beziehen sich auf die Umsetzung von Maßnahmen im Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen (Szenario 2) und der Sinteranlagen (Szenario 3).

5.1. Maßnahmen zur Minimierung der Freisetzung von uPOPS

5.1.1 Industrieller Sektor

PCDD/PCDF

In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 24. Juli 2002 wird allgemein die Massenkonzentration des PCDD/PCDF-Summenparameters von 0,1 ng I-TE/m³ als Emissionsgrenzwert angegeben. Eine Ausnahme stellen die Sinteranlagen dar, für welche der Grenzwert nach TA Luft bei 0,4 ng I-TE/m³ liegt und eine Konzentration von 0,1 ng I-TE/m³ angestrebt werden soll.

In der 13. BImSchV (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen) und der 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) wird ebenfalls eine Konzentration des PCDD/PCDF-Summenparameters von 0,1 ng I-TE/m³ als Emissionsgrenzwert angegeben.

Die Metallindustrie stellt mit einer Jahresfracht von ca. 55 g I-TE die Hauptquellgruppe für die PCDD/PCDF-Emissionen im Jahr 2004 dar. Hierbei sind insbesondere die Sinteranlagen

(ca. 42 g I-TE/a), die Elektrostahlwerke (ca. 7 g I-TE/a) und die Oxygenstahlwerke (ca. 3 g I-TE/a) für den Großteil der Emissionen verantwortlich.

In [14] und [36] werden bei Einsatz der besten verfügbaren Technik (BVT) erreichbare PCDD/PCDF-Konzentrationen von 0,1 ng I-TE/m³ für Elektro- und Konverterstahlwerke angegeben. Die bei Einsatz der BVT erreichbaren Konzentrationen werden durch die TA Luft bereits gesetzlich vorgeschrieben und es ist daher keine Emissionsminderung bei Elektro- und Konverterstahlwerken zu erwarten.

Die Großfeuerungsanlagen und die thermische Abfallbehandlung tragen zu 7,5 g I-TE/a bzw. 2,2 g I-TE/a zu den PCDD/PCDF-Emissionen bei. Nach [14] und [36] liegen die erreichbaren PCDD/PCDF-Konzentrationen bei Einsatz der BVT für die thermische Abfallbehandlung und für Feuerungsanlagen ebenfalls bei < 0,1 ng I-TE/m³. Diese Konzentrationen werden in der 13. und der 17. BImSchV als Grenzwerte angegeben, weshalb auch hier keine weitere Emissionsminderung zu erwarten ist.

Für Sinteranlagen wird in [14] und [36] eine erreichbare PCDD/PCDF-Konzentration im Abgasstrom von < 0,2 ng I-TE/m³ bei Einsatz der BVT angegeben. Dieser Wert ist um die Hälfte kleiner als der aktuelle Grenzwert der TA Luft vom 24. Juli 2002 (s.o.) und lässt somit Raum für ein Emissionsminderungspotential

Zur Abschätzung des Minderungspotentials der Emissionen aus Sinteranlagen wird in Kapitel 5.3 ein Maßnahmen-Szenario (Szenario 3) für die Entwicklung der PCDD/PCDF-Emissionen aus Sinteranlagen berechnet.

Nach [61], [36] und [14] können PCDD/PCDF-Emissionsreduktionen aus Sinteranlagen durch verschiedene prozessintegrierte Techniken, wie auch End-of-Pipe-Techniken erreicht werden. Zu nennen in diesem Zusammenhang ist die Prozessoptimierung in Form einer gleichmäßigen Betriebsführung (gleichmäßige Sinterbandgeschwindigkeit, Zusammensetzung des Sinterbandes, Höhe des Sinterbandes) und die Minimierung des Eintrittes von Falschluff. Diese Maßnahmen sollen eine Unterbrechung der Brennzonenwanderung vermeiden, welche zu erhöhten Emissionen führt.

Weitere prozessintegrierte Maßnahmen stellen die Reduzierung des Gehaltes flüchtiger Kohlenwasserstoffe und Halogenverbindungen im Input der Sinteranlagen und die Abgasrückführung (z.B. emissionsoptimierter Sinterprozess EOS) dar. Im Bereich der End-of-Pipe-Techniken erwiesen sich der Einsatz von Gewebefiltern, insbesondere nach der Grobentstaubung durch Elektroabscheider und unter Zudosieren von Herdofenkoks, sowie der Einsatz von Feinwäschern als besonders wirksam.

B(a)P und PAH

Für den PAH-Summenparameter ist kein Grenzwert in der TA Luft angegeben. B(a)P wird in Klasse I unter Nr. 5.2.7 der TA-Luft genannt; die Massenkonzentrationen der Stoffe dieser Klasse dürfen in der Summe 0,05 mg/m³ nicht überschreiten.

Die B(a)P- und PAH-Emissionen des industriellen Sektors leisten keinen signifikanten Betrag für das Gesamtinventar (vgl. Kapitel 3.15, Kapitel 4.2) und werden daher hier nicht weiter in Bezug auf mögliche Minderungsmaßnahmen untersucht.

5.1.2 Nicht-industrieller Sektor

PCDD/PCDF

Aus den vorhandenen Daten ergeben sich für den Sektor der offenen Verbrennung PCDD/PCDF-Emissionen von etwa 32 g I-TE pro Jahr, wobei dabei knapp 17 g PCDD/PCDF (I-TE) pro Jahr auf den Gebäudebrand von Industrieanlagen und etwa 7 g PCDD/PCDF (I-

TE) pro Jahr auf die illegale Müllverbrennung zurückgehen. Erstere sind vorwiegend durch Brandschutzmaßnahmen sowie schadstoffarme Baumaterialien einzudämmen und letztere lediglich durch eine weitere Aufklärung der Bevölkerung über die Folgen und Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Die sehr unsichere Datenlage der Emissionsberechnung der offenen Verbrennung ist bei der Einordnung der Jahresfrachten in den Gesamtkontext zu beachten (vgl. Kapitel 3.14).

Ca. 22 g PCDD/PCDF (I-TE) pro Jahr stammen aus dem Sektor der Feuerungen der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher, wobei in etwa 15 g PCDD/PCDF (I-TE) pro Jahr allein auf die Holzfeuerungen zurückgehen. Ein Großteil der Emissionen wird von Anlagen von Kleinverbrauchern – in erster Linie holzverarbeitende Betriebe – verursacht.

Maßnahmen zur PCDD/PCDF-Emissionsminderung aus Kleinf Feuerungsanlagen können bei der Vermeidung der Entstehungsbedingungen ansetzen, aber auch Sekundärmaßnahmen zur Staubabscheidung kommen zur Verminderung der Dioxin-Emissionen in Frage, da PCDD/PCDF zum Großteil an Stäube adsorbiert emittiert werden. Die Bildung von PCDD/PCDF wird begünstigt durch unvollständige Verbrennung von Brennstoffen, die Kohlenstoff und Chlor enthalten (behandelte oder lackierte Resthölzer, Mitverbrennung von Verpackungsmaterialien). Die Temperatur in der Verbrennungskammer sollte $> 450\text{ °C}$ betragen, eine ausreichende Durchwirbelung des Verbrennungsgases sowie Verweilzeit und Sauerstoffzufuhr sollte gewährleistet werden. Darüber hinaus sollte die Anwesenheit von Metallkatalysatoren, wie Kupfer, Zink oder Aluminium vermieden werden, da diese die PCDD/PCDF-Bildung unterstützen (vgl. [14, S.51]).

Die weiter unten genannten Maßnahmen zur Eindämmung der B(a)P- und PAH-Emissionen führen in gewissem Maße auch zur Reduktion der vorwiegend in der Feinstaubfraktion vorliegenden PCDD/PCDF (vgl. [14, S.227], [36, S. 8]).

Als Sekundärmaßnahme geeignet sind in erster Linie Elektro- und Gewebeabscheider. Diese sind im Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen derzeit noch nicht üblich, es werden aber im Rahmen eines Förderschwerpunkts des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz eine Reihe von Anlagen zur Marktreife entwickelt. Es ist damit zu rechnen, dass derartige Sekundärmaßnahmen nach Inkrafttreten der geplanten Novelle der 1.BImSchV zunehmend eingesetzt werden. Gerade Anlagen in holzverarbeitenden Betrieben, die für den größten Teil der Dioxinmissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen verantwortlich sind, betreiben zumeist Anlagen mit einer Nennwärmeleistung über 50 kW. Bei diesen Anlagen kann von verhältnismäßigen Kosten für sekundäre Staubabscheider ausgegangen werden.

In der 19. BImSchV (Verordnung über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz) vom 17. Januar 1992 ist das Verbot von Chlor- und Bromzusätzen als Kraftstoffzusätze geregelt und in der 27. BImSchV (Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung) ist ein Grenzwert für die PCDD/PCDF-Emissionen aus Krematorien von $0,1\text{ ng I-TE/m}^3$ festgelegt. Die aktuellen PCDD/PCDF-Emissionen des Sektors Transport und Verkehr mit rund 4 g I-TE/a und die der Krematorien mit $0,14\text{ g I-TE/a}$ fallen vergleichsweise gering aus.

B(a)P und PAH

Mit insgesamt ca. 31 t B(a)P pro Jahr und ca. 83 t PAH pro Jahr sind die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher die Hauptemittenten dieser Schadstoffe, wobei die Holzbrennstoffe mit 86 bzw. 84 % jeweils den Hauptanteil ausmachen.

Die Entwicklung des Einsatzes von Holzbrennstoffen und die technische Entwicklung des Anlagenbestandes zur Verfeuerung von Holzbrennstoffen stellen daher die maßgeblichen Faktoren für die Emissionsentwicklung von B(a)P und PAH dar in Deutschland dar.

Nach [36] können bei Einsatz moderner holzbefuerter Kessel mit Wasserspeicher und optimierter Ausführung der Brennkammer und Luftzufuhr entsprechend dem Stand der

Technik, die PAH-Emissionen im Vergleich zu einem veralteten Kessel um bis zu 90 % reduziert werden. Eine optimierte Brennkammer schließt eine Holz-Vergasungszone ein, eine Gasverbrennungszone aus Keramik (Temperaturen von 1000 °C) und eine wirksame Konvektionszone (Senkung der Temperatur auf < 250 °C) mit ein.

Maßnahmen zur Kohlenmonoxid-Reduktion, wie z.B. eine optimierte Ausbrandgüte, wirken sich auch mindernd auf die PAH-Emissionen aus und ebenso nehmen auch die Grenzwert-Bestimmung für CO-Emissionen der 1. BImSchV Einfluss auf die PAH-Emissionen.

Die Anlagen der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher bedürfen keiner Genehmigung und fallen unter die Regelungen der 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). Dort geregelt werden die Anforderungen an den Betrieb und die Überwachung dieser Anlagen (vgl. [60, S.5]), d.h. welche Brennstoffe eingesetzt werden dürfen, sowie die Grenzwerte für Staub- und CO-Emissionen für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung > 15 kW. Der größte Teil der eingesetzten Anlagen zur Holzfeuerung sind aktuell jedoch Einzelraumfeuerungen mit einer Nennwärmeleistung < 15 kW. Die aufgeführten Grenzwerte stammen zudem aus dem Jahr 1988 und lassen neuere Erkenntnisse zur Feinstaub-Problematik und die technische Entwicklung kleinerer Holzfeuerungsanlagen bislang außer Acht. Auf Grund dessen ist eine Novellierung der 1. BImSchV mit den folgenden Zielen (vgl. [60], S. 6) geplant:

- Senkung der Leistungsgrenze für Emissionsgrenzwerte auf 4 kW.
- Bei Einzelraumfeuerstätten: Grenzwerte, die bei der Typprüfung bevor Geräte auf den Markt kommen, einzuhalten sind.
- Verschärfung von Emissionsgrenzwerten für CO und Staub in zwei Stufen.
- Bessere Beratung der Betreiber (durch Schornsteinfeger z.B.).
- Nachrüstung oder Austausch alter Kleinfeuerungsanlagen.

Eine weitere wichtige Maßnahme sind Instrumente zur Förderung emissionsarmer Pelletkessel, wie z.B. Förderprogramme durch Bund und Länder. Beispielsweise werden aus dem Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmebereich gefördert. Nach den Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Juni 2006 werden vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Zuschüsse für Pelletkessel und Scheitholzvergaserkessel gewährt. Seit 1. Februar 2006 betragen die Fördersätze für automatisch beschickte Biomassekessel (Nennwärmeleistung > 30 kW bis 100 kW) 24 Euro je kW und für manuell beschickte Holz-Vergaserkessel (Nennwärmeleistung bis 30 kW) 26 Euro je kW, bei Anlagen mit einem Kesselwirkungsgrad von > 90 % mindestens 780 Euro. Weiterhin können auch Förderungen in Form eines Teilschuldenerlass zur vorzeitigen teilweisen Tilgung oder der Bereitstellung von aus Eigenmitteln der KfW Förderbank bereitgestellten, langfristigen zinsgünstigen Darlehen gewährleistet werden (vgl.[6]).

Außerdem relevant ist die Art der Befuerung, der Wartungszustand der Anlagen und die Auswahl und die Qualität des genutzten Holzes. Diese Faktoren sollen durch regelmäßige Informationen der Betreiber, sowie eine regelmäßige Überprüfung der Anlagen positiv genutzt werden (vgl. [60]). Es sollte ausschließlich getrocknetes Holz (18-24 Monate gelagert) verwendet werden um eine vollständige Verbrennung in den Anlagen zu gewährleisten. Eine verbesserte Wärmedämmung zur Senkung des Energieverbrauches und andere Maßnahmen zur Energieeinsparung stellen übergeordnete Möglichkeiten zur Emissionsminderung der Kleinverbraucher dar [36, S.5]

Besonders emissionsarme Holzpelletöfen (bis 15 kW) und –heizkessel (bis 50 kW), vor allem im Hinblick auf die Feinstaubemissionen, erhalten das Umweltzeichen „Blauer Engel“. Insbesondere der hohe Automatisierungsgrad und die Verwendung von Brennstoffen einheitlicher Qualität führen zu der emissionsarmen und effizienten Nutzung von Holz zu Heizzwecken in diesen Anlagen (vgl. [51], [50]). Der „Blaue Engel“ verfolgt als „Ökolabel“ das

Ziel, als marktkonformes umweltpolitisches Instrument, die ökologisch besten Produkte zum Standard werden zu lassen.

Derzeit wird vom UBA geprüft, ob der Einsatz von Staubabscheidern zur Rauchgasreinigung auch in kleinen Anlagen möglich ist. [60, S.5].

Schätzungen des UBA belaufen sich bei Umsetzung der genannten Maßnahmen derzeit auf eine Senkung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen bis zum Jahr 2020 um ca. 40 Prozent (vgl. [60]).

Zur Abschätzung des Minderungspotentiales der Emissionen aus dem Sektor der HH und UEKV wird in Kapitel 5.3 ein Maßnahmen-Szenario (Szenario 2) für die Entwicklung der PCDD/PCDF-, B(a)P- und PAH-Emissionen der HH und UEKV vorgestellt.

5.2. Verbesserung der Emissionsdatenerfassung

Folgende Unterkapitel beschreiben die bisherigen Maßnahmen und deren Schwachstellen zur POPs-Emissionsdatenerfassung.

5.2.1 Industrieller Sektor

Nach der 11. BImSchV sind alle nach 4. BImSchV genehmigungsbedürftigen Anlagen zur Abgabe von Emissionserklärungen verpflichtet.

Dabei sind grundsätzlich alle PCDD/PCDF-Emissionen erklärungspflichtig, unabhängig von der emittierten Menge. Die Erklärungspflicht für PCDD/PCDF besteht nach der 11. BImSchV, wie auch dem UNECE POPs-Protokoll in der Angabe als I-TE nach NATO/CCMS. Das Stockholmer Abkommen jedoch verlangt die Angabe als Toxizitätsequivalente nach den Vorgaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO-TE) (vgl. Anhang A 2). Die PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren aus der Literatur beziehen sich ebenfalls fast ausschließlich auf I-TE.

PAH werden erst bei Überschreiten einer Emission von 50 kg/a je Anlage und HCB bei 10 kg je Anlage erklärungspflichtig. Der Schwellenwert für B(a)P liegt je Anlage mit 0,25 kg/a bzw. 0,01 kg/h deutlich niedriger. PCB werden nicht explizit genannt in der 11. BImSchV. Der PAH-Summenparameter der 11. BImSchV schließt außerdem 6 anstelle der nach UNECE POPs-Protokoll geforderten 4 Indikatorsubstanzen ein (vgl. Anhang A 2).

Die Emissionserklärungen können somit nicht als alleinige Information zur Erfüllung der Berichtspflicht nach dem Stockholmer Abkommen herangezogen werden.

Die Berichtspflicht für POPs-Emissionen nach EG Richtlinie 2000/479/EG über den Aufbau eines europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) greift zusätzlich zu den o.g. Schwellenwerten auch teilweise erst bei Erreichen von Mindestkapazitäten von Industrieanlagen (vgl. [39]) und ist daher zur Erfüllung der Berichtspflichten nach dem Stockholmer Übereinkommen und dem UNECE POPs-Protokoll auch für die Luftpfad-Emissionen des industriellen Sektors unzureichend.

Generell sind weitergehende Informationen (Messprogramme, weitergehende Literaturrecherche) zu insbesondere HCB- und PCB- Emissionsfaktoren erforderlich, da die Datenbasis hier zu weiten Teilen für Emissionsberechnungen unzureichend ist. Vorrangig sollten hierbei die vermuteten Hauptquellgruppen für die unbeabsichtigte Emission dieser Schadstoffe einer näheren Untersuchung unterzogen werden. Für den industriellen Sektor sind dies die Metallindustrie, die Feuerungsanlagen und die chemische Industrie. (vgl. Kapitel 3.15).

Mit Hilfe einer detaillierteren Bestimmung von PAH-Emissionsprofilen könnten für diejenigen Sektoren, für welche keine EF für den PAH-4 Summenparameter verfügbar sind, die Emissionen über die B(a)P- Emissionsfaktoren abgeschätzt werden (vgl. [12]).

5.2.2 Nicht-industrieller Sektor

Im Bereich der HH und UEKV sind aktuelle Informationen zur Technologiestruktur und zum Stand der Technik bestehender Anlagen zur Feststofffeuerung notwendig. Außerdem ist die Erfassung aktueller Aktivitäten der Feststofffeuerungen (insbesondere der Holzfeuerungen) der HH und UEKV unabdingbar für die Erstellung zukünftiger POPs-Emissionsinventare.

Eine zentrale Erhebung von Brandeinsatzstatistiken der Feuerwehren sowie die Angabe der Brandgutmenge bei der Verbrennung von Grünabfällen aus Landwirtschaft und Gewerbe wäre eine Maßnahme zur Verbesserung der Datenqualität des Sektors der offenen Verbrennung.

Ebenso wie beim industriellen Sektor bestehen auch im nicht-industriellen Sektor sehr große Datenlücken für die Berechnung der HCB- und PCB- Emissionen, aufgrund fehlender Emissionsfaktoren. Untersuchungsprogramme für die vermuteten Hauptemittenten (Transport und Verkehr, häusliche Verbrennungsquellen) sollten auch hier durchgeführt werden (vgl. Kapitel 3.15).

Die PCDD/PCDF-Emissionsfaktoren aus der Literatur beziehen sich fast ausschließlich auf I-TE, Informationen zu den im Stockholm-Übereinkommen geforderten WHO-TE liegen bisher nicht vor.

Mit Hilfe einer detaillierteren Bestimmung von PAH-Emissionsprofilen könnten auch für die nicht-industriellen Sektoren EF für den PAH-4 Summenparameter über die B(a)P-Emissionsfaktoren abgeschätzt werden (vgl. [12]).

5.3. Maßnahmen-Szenario bei Umsetzung der BVT in Kleinf Feuerungsanlagen zur Holzfeuerung (Szenario 2)

Zur Ermittlung der Minderungspotentiale für die PCDD/PCDF-, B(a)P- und PAH-Emissionen der HH und UEKV wird einerseits der erwarteten Anstieg des Holzverbrauches in Kleinf Feuerungsanlagen mit berücksichtigt und andererseits auch die derzeit beste verfügbare Technik im Hinblick auf die Eindämmung der Schadstoffemissionen bis 2020 als Standard gesetzt.

Es werden für Szenario 2 neben der Prognose der Endenergieverbräuche auch Prognosen für die EF durchgeführt.

Wie bereits in Szenario 1 (vgl. Kapitel 4.3) stellen die brennstoffspezifischen Endenergieverbräuche der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher für das Jahr 2004 [62], die gerätebezogenen Endenergieverbräuche [47], sowie die im Rahmen des Vorliegenden Forschungsvorhabens ermittelten Emissionsfaktoren für die Emittentengruppen Heizkessel und Kamine/Öfen in Haushalten und übrigen Kleinverbrauch die Ausgangspunkte für die Prognosen dar.

Als Referenzszenario dient die Emissionssituation des Jahres 2004 mit den zugehörigen ermittelten Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 3.13).

Prognose der Endenergieverbrauche

Laut einer Studie des EWI³⁸ und der Prognos AG aus dem Jahr 2005 ([13]) geht der Endenergieverbrauch (EV) bis 2030 in allen Verbrauchssektoren insgesamt zurück. Bei den Haushalten und übrigen Kleinverbrauchern kommt es zunächst bis zum Jahr 2010 zu einer Zunahme um 0,6 % pro Jahr und vom Jahr 2010 bis 2020 dann zu einer Abnahme des Endenergieverbrauches um 0,7 % pro Jahr. Insgesamt gehen die EV der HH und UEKV ausgehend vom Jahr 2004 um 3,4% bis zum Jahr 2020 zurück. Diese Entwicklung wird für das Maßnahmen-Szenario (Szenario 2) angenommen. Eine getrennte Betrachtung der Entwicklung der EV von HH und UEKV geht aus dieser Studie nicht hervor.

Es wird angenommen, dass sich die geschilderten Entwicklungen der Endenergieverbrauche analog der Verteilung des Energiemix des Jahres 2004 fortsetzt.

Außerdem wird auch für dieses Szenario ein Anstieg des Endenergieverbrauches von Holz von 5 % angenommen, welcher durch einen entsprechenden Rückgang der Heizölfeuerungen kompensiert wird (Erläuterung siehe Kapitel 4.3).

Prognose der B(a)P, PAH-, PCDD/PCDF- Emissionsfaktoren

In Szenario 2 wird eine Entwicklung der Emissionsfaktoren aufgrund des technischen Fortschrittes in die Betrachtungen mit einbezogen.

Insbesondere die kontinuierlich steigende Anzahl von Pelletöfen und -heizungen und allgemein der höhere Anteil an mechanisch beschickten Holzfeuerungen, sowie die im Zuge der geplanten Novellierung der 1. BImSchV zu erwartenden verbesserten Techniken der Kleinf Feuerungsanlagen im Hinblick auf die Vermeidung und Verminderung von Schadstoff- und Feinstaubemissionen, lassen eine Verminderung der Emissionsfaktoren erwarten. Ebenso werden auch die Förder- und Informationsprogramme zu Anschaffung und Betrieb schadstoffarmer Holzfeuerungsanlagen den Weg in diese Richtung weisen (vgl. Kapitel 5.1).

Es werden für Holz, Heizöl und Erdgas für das Jahr 2020 die jeweils besten und im Kontext plausiblen EF aus der hier durchgeführten Literaturstudie (vgl. Kapitel 2.2) gewählt, unter Annahme einer vollständigen Modernisierung des Anlagenbestandes. Für den Zeitraum dazwischen werden die Emissionsfaktoren linear interpoliert, da von einer kontinuierlichen Änderung des Anlagenbestandes ausgegangen werden kann (vgl. [47]).

Für Kohlebrennstoffe werden im Prognosezeitraum aufgrund der angenommenen sich weiter abschwächenden Nachfrage keine wesentlichen Impulse im Hinblick auf eine Änderung des Anlagenbestandes erwartet, so dass für diese Brennstoffe die Emissionsfaktoren aus dem Jahr 2004 für die Prognosejahre übernommen werden (vgl. [47]).

In Tabelle 74 sind die prognostizierten EF für B(a)P, PAH und PCDD/PCDF der Haushalte für das Jahr 2020 im Vergleich zum Referenzjahr 2004 für Brennholz, Heizöl und Erdgas aufgeführt. Mit angegeben ist die Minderung in % für den gesamten Zeitraum wie auch pro Jahr.

Tabelle 75 zeigt analog die prognostizierten EF für die übrigen Kleinverbraucher. In Tabelle 111, Tabelle 112 und Tabelle 113 in Anhang A 5 sind die prognostizierten EF für alle Prognosejahre sowie deren Abweichungen vom Berichtswert angegeben. Die Abweichungen entsprechen denen des Jahres 2004 (vgl. Kapitel 3.13) und wurden als konstant angenommen.

³⁸ Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln

Tabelle 74: Prognostizierte Entwicklung der brennstoffspezifischen EF für B(a)P, PAH und PCDD/PCDF für KFA der Haushalte

| | | 2004 | | 2020 | | % gesamt | | % pro Jahr | |
|-------------------------------|-----------|---------|---------|---------|--------|----------|--------|------------|--------|
| | | Kessel | Kamine | Kessel | Kamine | Kessel | Kamine | Kessel | Kamine |
| | | | | | | | | | |
| B(a)P [mg/TJ] | Brennholz | 100.000 | 140.000 | 12.000 | 15.000 | -88 | -89 | -5,5 | -5,6 |
| PAH [mg/TJ] | Brennholz | 190.000 | 400.000 | 40.000 | 50.000 | -79 | -88 | -4,9 | -5,5 |
| PCDD/PCDF [mg I-TE/TJ] | Brennholz | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | -81 | -77 | -5,1 | -4,8 |
| B(a)P [mg/TJ] | Heizöl | 1.000 | | 549 | | -45 | | -2,8 | |
| PAH [mg/TJ] | Heizöl | 4.000 | | 1.800 | | -55 | | -3,4 | |
| PCDD/PCDF [mg I-TE/TJ] | Heizöl | 0,003 | | 0,0003 | | -89 | | -5,5 | |
| B(a)P [mg/TJ] | Ergas | 40 | | 30 | | -24 | | -1,5 | |
| PAH [mg/TJ] | Ergas | 40 | | 30 | | -24 | | -1,5 | |
| PCDD/PCDF [mg I-TE/TJ] | Ergas | 0,0017 | | 0,00003 | | -98 | | -6,1 | |

Tabelle 75: Prognostizierte Entwicklung der brennstoffspezifischen EF für B(a)P, PAH und PCDD/PCDF für KFA der übrigen Kleinverbraucher

| EF | | 2004 | | 2020 | | % gesamt | | % pro Jahr | |
|-------------------------------|------------------|---------|---------|---------|--------|----------|--------|------------|--------|
| | | Kessel | Kamine | Kessel | Kamine | Kessel | Kamine | Kessel | Kamine |
| | | | | | | | | | |
| B(a)P [mg/TJ] | Brennholz | 60.000 | 130.000 | 12.000 | 15.000 | -80 | -88 | -5,0 | -5,5 |
| PAH [mg/TJ] | Brennholz | 150.000 | 300.000 | 30.000 | 50.000 | -80 | -83 | -5,0 | -5,2 |
| PCDD/PCDF [mg I-TE/TJ] | Brennholz | 0,40 | 0,04 | 0,0700 | 0,01 | -83 | -77 | -5,2 | -4,8 |
| B(a)P [mg/TJ] | Heizöl | 600 | | 100 | | -83 | | -5,2 | |
| PAH [mg/TJ] | Heizöl | 4.000 | | 1.800 | | -55 | | -3,4 | |
| PCDD/PCDF [mg I-TE/TJ] | Heizöl | 0,003 | | 0,0005 | | -83 | | -5,2 | |
| B(a)P [mg/TJ] | Ergas | 40 | | 30 | | -24 | | -1,5 | |
| PAH [mg/TJ] | Ergas | 40 | | 30 | | -24 | | -1,5 | |
| PCDD/PCDF [mg I-TE/TJ] | Ergas | 0,0017 | | 0,00003 | | -98 | | -6,1 | |

In [56] wird von einer Reduzierung des Partikel-Emissionsfaktors für Heizöl EL von etwa 60% und für Holz von etwa 40% bis zum Jahr 2020 ausgegangen, was dort durch die verbesserte Heizölqualität (geringere Schwefelgehalte), durch die Erhöhung des Anteiles von mechanisch beschickten Anlagen zur Holzfeuerung und den verstärkten Einsatz von Holzpellets begründet wird.

Für Szenario 2 werden die Grundvoraussetzungen des Szenario 1 übernommen (vgl. Kapitel 4.3) und darüber hinaus zusätzliche Annahmen getroffen.

Gemeinsame Annahmen für Szenario1 und Szenario 2:

- Die jährliche Zuwachsrate der Wärmegewinnung durch Holzfeuerungen beträgt 5 % pro Jahr.
- Die Zunahme im Bereich der Holzfeuerungen erfolgt auf Kosten der Wärmegewinnung mit Heizöl.

Zusätzliche Annahmen für Szenario 2:

- Lineare Minderung der Emissionsfaktoren für Heizöl-, Erdgas- und Holzfeuerungen auf den jeweils kleinsten plausiblen Wert der Literaturrecherche bis zum Jahr 2020 (vgl. Tabelle 74 und Tabelle 75).
- Anstieg des Endenergieverbrauches der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher um 0,6% pro Jahr bis zum Jahr 2010 und Absinken Endenergieverbrauches von Haushalten und übrigen Kleinverbrauchern um 0,7% pro Jahr von 2010 bis 2020 (vgl. [13]).

Ergebnisse Szenario 2 (Maßnahmen-Szenario)

Tabelle 76 zeigt die Ergebnisse für Szenario 2 für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher. Während es in Szenario 1 (vgl. Kapitel 4.3) quasi zu einer Verdoppelung der B(a)P, PAH- und PCDD/PCDF- Emissionen bis zum Jahr 2020 kommt, werden bei Szenario 2 nur noch in etwa ein Drittel der Jahresfrachten von 2004 emittiert (vgl. Tabelle 67, Tabelle 68 und Tabelle 69 in Kapitel 3.15).

Tabelle 76: Emissionsentwicklung der Haushalte und übrigen Kleinverbraucher unter den Bedingungen des Emissionsszenario 2.

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| B(a)P [kg/a] | 18.975 | 28.648 | 38.656 | 14.725 | 21.758 | 29.219 | 7.645 | 10.353 | 13.217 |
| PAH [kg/a] | 47.034 | 73.963 | 102.387 | 37.488 | 57.589 | 79.232 | 23.767 | 32.316 | 41.707 |
| PCDD/PCDF [g I-TE/a] | 14,8 | 19,7 | 24,5 | 11,0 | 14,9 | 18,9 | 5,9 | 8,1 | 10,3 |

Die Entwicklung der brennstoffspezifischen AR der HH und UEKV bis zum Jahr 2020 unter den Annahmen des Emissionsszenario 2, können Tabelle 110 in Anhang A 5 entnommen werden.

In Abbildung 21 sind beispielhaft die Ergebnisse der B(a)P-Emissionsprognosen für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher aus Szenario 1 (Kapitel 4.3) und Szenario 2 den B(a)P-Emissionsberechnungen ohne Berücksichtigung des ansteigenden Holzeinsatzes („Prognose ZSE“) gegenübergestellt (vgl. Kapitel 4.1 und Kapitel 4.2). Der relative Bezug der Szenarien zueinander bleibt gleich für die übrigen Schadstoffe, auf deren Darstellung wird daher hier verzichtet.

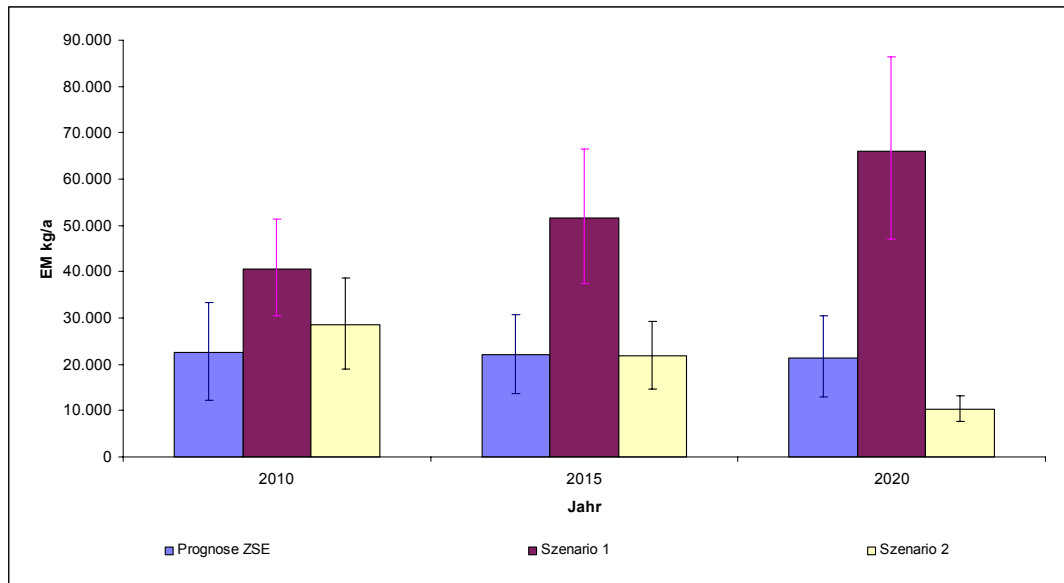


Abbildung 21: Vergleich der B(a)P-Emissionsprognosen der „Holz-Szenarien“ und den Emissionsberechnungen mittels AR aus dem ZSE.

5.4. Maßnahmen-Szenario bei Umsetzung der BVT in Sinteranlagen (Szenario 3)

Die TA Luft schreibt derzeit einen Grenzwert von 0,4 ng PCDD/PCDF (I-TE) pro m³ im Abgasstrom von Sinteranlagen vor und nach [14] können bei Einsatz der derzeit besten verfügbaren Technik (BVT) Konzentrationen von 0,2 ng I-TE/m³ erreicht werden.

Mit Ausnahme einer Sinteranlage sind für die Sinteranlagen in Deutschland die PCDD/PCDF-Konzentrationen der Abgasvolumenströme aus den Emissionserklärungen 2004 (EE 2004) verfügbar. Die Auswertung der EE 2004 ergab folgende 3 Fälle:

- 1) zwei der 9 Sinteranlagen weisen Konzentrationen kleiner 0,2 ng I-TE/m³ auf
- 2) eine Anlage eine Konzentration von 0,4 ng I-TE/m³ und
- 3) sechs Anlagen Konzentrationen größer 0,4 ng I-TE/m³.

Für das Maßnahmen-Szenario wird für die geschilderten 3 Fälle in obiger Reihenfolge angenommen, dass die PCDD/PCDF-Konzentrationen

- 1) gleich bleiben bis 2020,
- 2) auf 0,2 ng I-TE/m³ abgesenkt werden bis 2020
- 3) auf 0,4 ng I-TE/m³ abgesenkt werden bis 2020

Aus diesen angenommenen verminderten PCDD/PCDF-Konzentrationen kann in Verbindung mit den ebenfalls aus den EE 2004 verfügbaren jeweiligen Abgasvolumenströmen für die aufgeführten 9 Sinteranlagen eine verminderte Gesamtemission von in etwa 11,8 g I-TE/a für das Jahr 2020 berechnet werden (für das Jahr 2004 werden ca. 39 g I-TE/a in den EE 2004 berichtet). Aus der durchschnittlichen Produktionsmenge dieser 9 Sinteranlagen von 25,8 Mio. t (nach [20]) kann für das Maßnahmen-szenario ein vermindertes mittlerer Emissionsfaktor von ca. 0,5 µg I-TE/t Sinter für das Jahr 2020 ermittelt werden.

Für die Berechnung des Maßnahmen-szenarios (Szenario 3) wird angenommen, dass der EF des Bezugsjahres 2004 (1,5 µg I-TE/t Sinter) bis zum Jahr 2020 kontinuierlich auf den Zielwert von 0,5 µg I-TE/t Sinter fällt; die EF für die Prognosejahre werden linear interpoliert. Die angenommenen verminderten Emissionsfaktoren für die Prognosejahre 2010, 2015 und 2020 können Tabelle 114 in Anhang A 6 entnommen werden.

Ohne die o.g. Minderung der Konzentrationen im Abgasstrom beträgt die Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen aus Sinteranlagen im Vergleich zum Bezugsjahr 2004 bis 2020 in etwa 24 %; die PCDD/PCDF-Emissionen fallen auf aufgrund verminderter Aktivitätsraten auf ca. 32 g I-TE (vgl. Kapitel 4.1 und Abbildung 22).

Mit dem vorgestellten Maßnahmen-Szenario (Szenario 3) werden Minderungen der Emissionen im Vergleich zum Bezugsjahr 2004 um knapp 75 % erreicht und die PCDD/PCDF-Jahresfracht fällt auf ca. 10,5 g I-TE im Jahr 2020; das entspricht einem Minderungspotential von etwa 67% bis zum Jahr 2020 (vgl. Abbildung 22).

Die Emissionsprognosen in Abbildung 22 wurden mittels Monte-Carlo-Simulation berechnet. Die AR wurden dem ZSE entnommen (vgl. Tabelle 102 in Anhang A 4); deren Abweichungen verdoppeln sich ausgehend vom Bezugsjahr 2004 (Abweichung +/- 1 %) bis zum Jahr 2020 (Abweichung +/- 2 %) kontinuierlich. Die Abweichungen der EF bleiben konstant bei +/- 50 % und die Verteilungstypen von AR und EF wurden ebenfalls beibehalten (vgl. Kapitel 4).

Die Abbildung 22 zugrunde liegenden Werte können Tabelle 115 in Anhang A 6 entnommen werden.

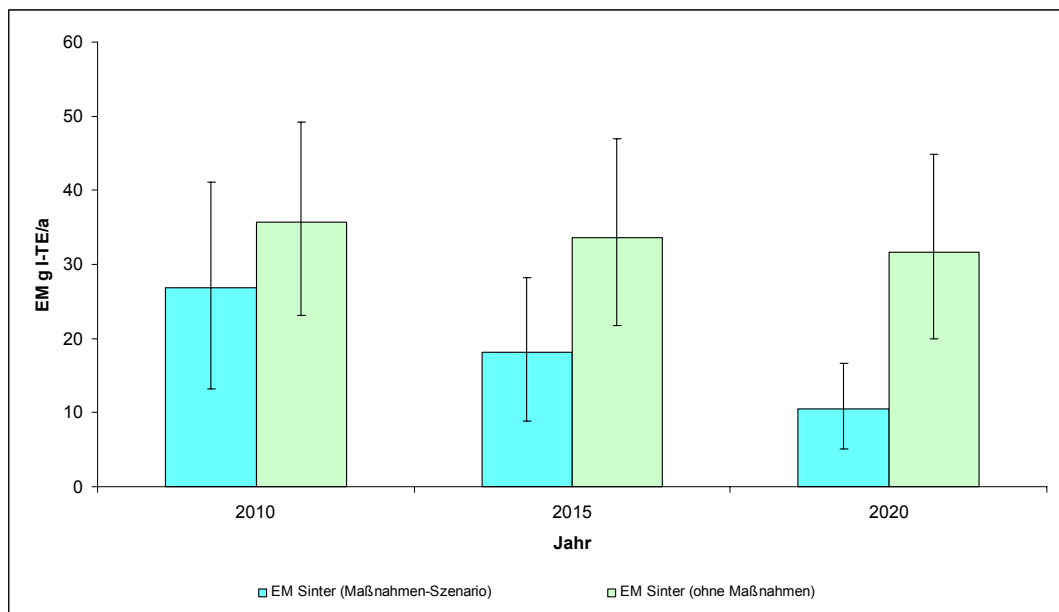


Abbildung 22: PCDD/PCDF-Emissionen aus Sinteranlagen: Maßnahmen-Szenario der Sinter im Vergleich zu den Prognosen ohne Minderung der EF.

5.5. Zusammenfassung der Wirkungen bestehender und geplanter Maßnahmen (PCDD/PCDF, B(a)P, PAH)

Die in Kapitel 5.1 vorgestellten aktuellen Anforderungen an die PCDD/PCDF-Emissionsreduktion lassen derzeit lediglich im Bereich der Sinteranlagen und dem nicht-industriellen Sektor eine weitere Emissionsminderung erwarten. Die übrigen Hauptquellgruppen des industriellen Sektors sind in Bezug auf die PCDD/PCDF-Emissionen durch das BImSchG und den entsprechenden BImSchV bereits verpflichtet, die Emissionen auf die bei Einsatz der BVT erreichbaren Konzentration zu senken.

Im Bereich der B(a)P und PAH-Emissionen spielen die Quellgruppen des industriellen Sektors nur eine untergeordnete Rolle.

Aus dem Maßnahmen-Szenario für Sinteranlagen (Szenario 3) in Kapitel 5.4 ergibt sich eine PCDD/PCDF Emissionsminderung für Sinteranlagen von insgesamt ca. 75% bis zum Jahr 2020 im Vergleich zum Bezugsjahr 2004 (s.o.), was einem Minderungspotential von 67 % im Vergleich zu den Prognosen ohne weitere Maßnahmen entspricht. Die Emissionen sinken unter den Bedingungen des Maßnahmen-Szenario absolut von 41,5 g I-TE im Jahr 2004 auf etwa 10,5 g I-TE im Jahr 2020.

Für den nicht-industriellen Sektor wurde mit Hilfe des Szenario 2 versucht, das maximal mögliche Minderungspotential für die B(a)P-, PAH- und PCDD/PCDF-Emissionen der HH und UEKV zu bestimmen, bei steigendem Holzeinsatz.

Die Darstellung der Entwicklung der Emissionen der offenen Verbrennung ist aufgrund der schlechten Datenlage und der schweren Vorhersagbarkeit der Einflüsse verschiedener Maßnahmen nicht möglich.

Für das Maßnahmen-Szenario der HH und UEKV (Szenario 2) in Kapitel 5.3 errechnet sich eine Reduktion der PCDD/PCDF-Emissionen des Bezugsjahres 2004 (22 g I-TE) um etwa 64% auf ca. 8 g I-TE im Jahr 2020. Die B(a)P-Emissionen sinken von 31 t im Jahr 2004 auf etwa 10 t im Jahr 2020 und die PAH-Emissionen fallen von etwa 83 t im Jahr 2004 auf ca. 32 t im Jahr 2020. Es wird dabei allerdings von einem Anlagenbestand ausgegangen, der sich bis zum Jahr 2020 vollständig auf dem Stand der derzeit besten verfügbaren Technik (BVT) befindet.

Über die Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen zur Emissionsreduktion von insbesondere den Anlagen zur Holzfeuerung (vgl. Kapitel 5.1.2) kann die Entwicklung des Szenario 1 (Wachstums-Szenario ohne Maßnahmen) aus Kapitel 4.3 abgeschwächt werden und im besten Fall sogar eine Emissionsreduktion trotz steigendem Holzeinsatz erreicht werden.

Unter der Annahme des vollständigen Eintretens aller Bedingungen der Maßnahmen-Szenarien (Szenario 2 und Szenario 3) ergeben sich PCDD/PCDF-Emissionsreduktionen des gesamten Inventars bis 2020 von etwa 35 %. Absolut würden die PCDD/PCDF-Emissionen von etwa 127 g I-TE im Jahr 2004 auf 82 g I-TE im Jahr 2020 sinken. Die B(a)P-Emissionsreduktionen des gesamten Inventars würde etwa 63 % betragen und die Emissionen würden absolut von insgesamt 32 t im Jahr 2004 auf etwa 12 t im Jahr 2020 sinken. Die Minderung der PAH-Emissionen betrüge etwa 54 % und die Emissionen würden von insgesamt 97 t PAH im Jahr 2004 auf etwa 45 t im Jahr 2020 sinken.

Anhang

A 1 Auswertung der von den Bundesländern übermittelten Datensätze mit Hilfe einer Access- Datenbank

1. Datenbankstruktur

Die Daten der Emissionserklärungen werden mit mehreren Formularen erhoben. Formular B enthält Angaben zum Betreiber und Betriebsort der Anlage und Formular Q die Übertrittsstellen der von der Anlage ausgehenden Emissionen in die Atmosphäre (QUE-Nr.). Die Formulare A und AN enthalten Angaben zur Art und Leistung der Anlage bzw. der Anlagenteile und Nebeneinrichtungen (AN). In Formular BE kann eine weitere Unterteilung in Betriebseinrichtungen (BE) durchgeführt werden. Formular G enthält Angaben zu Stoffen, aus denen unmittelbar auf die von der Anlage ausgehenden Emissionen geschlossen werden kann oder die für die Aufstellung von Massenbilanzen erforderlich sind. Das Formular EV enthält Angaben zu den emissionsverursachenden Vorgängen (EV) sowie zur Abgasreinigung und zum Abgasstrom. Die gehandhabten Stoffe sowie die emissionsverursachenden Vorgänge werden auf der Ebene der Betriebseinrichtungen angegeben. Abschließend werden in Formular EM Angaben zu den emittierten Stoffen aus den emissionsverursachenden Vorgängen gemacht.

Die Verknüpfung der Datensätze in den einzelnen Formularen erfolgt über einen Schlüssel, der sich je nach Auflösungstiefe aus einer Behörden-Nr., einer Arbeitsstätten-Nr., einer Anlagen-Nr., einer AN-Nr., einer BE-Nr., einer QUE-Nr. und einer EV-Nr. zusammensetzt.

Die Datensätze aus den Formularen wurden in entsprechende Access-Tabellen übertragen. Dabei wurden die Formulare A und AN in einer Tabelle A/AN zusammengefasst und ein einheitlicher Primärschlüssel gebildet. Dieser setzt sich aus den Datenfeldern Bundesland, Behörden-Nr., Arbeitsstätten-Nr., Anlagen-Nr. und AN-Nr. zusammen. Die Bundesländer werden dabei mit einem zweistelligen Schlüssel abgekürzt, welcher in Tabelle 77 aufgeführt ist. Für Anlagen, die keine Aufteilung in Anlagenteile und Nebeneinrichtungen aufweisen, wurde in das Datenfeld AN-Nr. eine „0“ eingetragen.

Der Primärschlüssel aus Tabelle A/AN ist in den Tabellen BE, G, EV und EM als Fremdschlüssel enthalten. Den Datensätzen in diesen Tabellen ist als Primärschlüssel eine fortlaufende ID zugeordnet. Die Daten der Tabelle A/AN sind so über eine 1 : n Beziehung mit Daten der Detailtabellen BE, G, EV und EM verknüpft, wie Abbildung 23 verdeutlicht. Über diesen Datenbankaufbau ist nun mit Hilfe von Abfragen zur Emittentenstruktur eine Auswertung der bereitgestellten Daten möglich.

Tabelle 77: Zweistellige Abkürzung der Bundesländer

| | | | |
|----|------------------------------|----|---------------------|
| BB | Brandenburg | NI | Niedersachsen |
| BE | Berlin | NW | Nordrhein-Westfalen |
| BW | Baden-Württemberg | RP | Rheinland-Pfalz |
| BY | Freistaat Bayern | SH | Schleswig-Holstein |
| HB | Freie Hansestadt Bremen | SL | Saarland |
| HE | Hessen | SN | Freistaat Sachsen |
| HH | Freie und Hansestadt Hamburg | ST | Sachsen-Anhalt |
| MV | Mecklenburg-Vorpommern | TH | Thüringen |

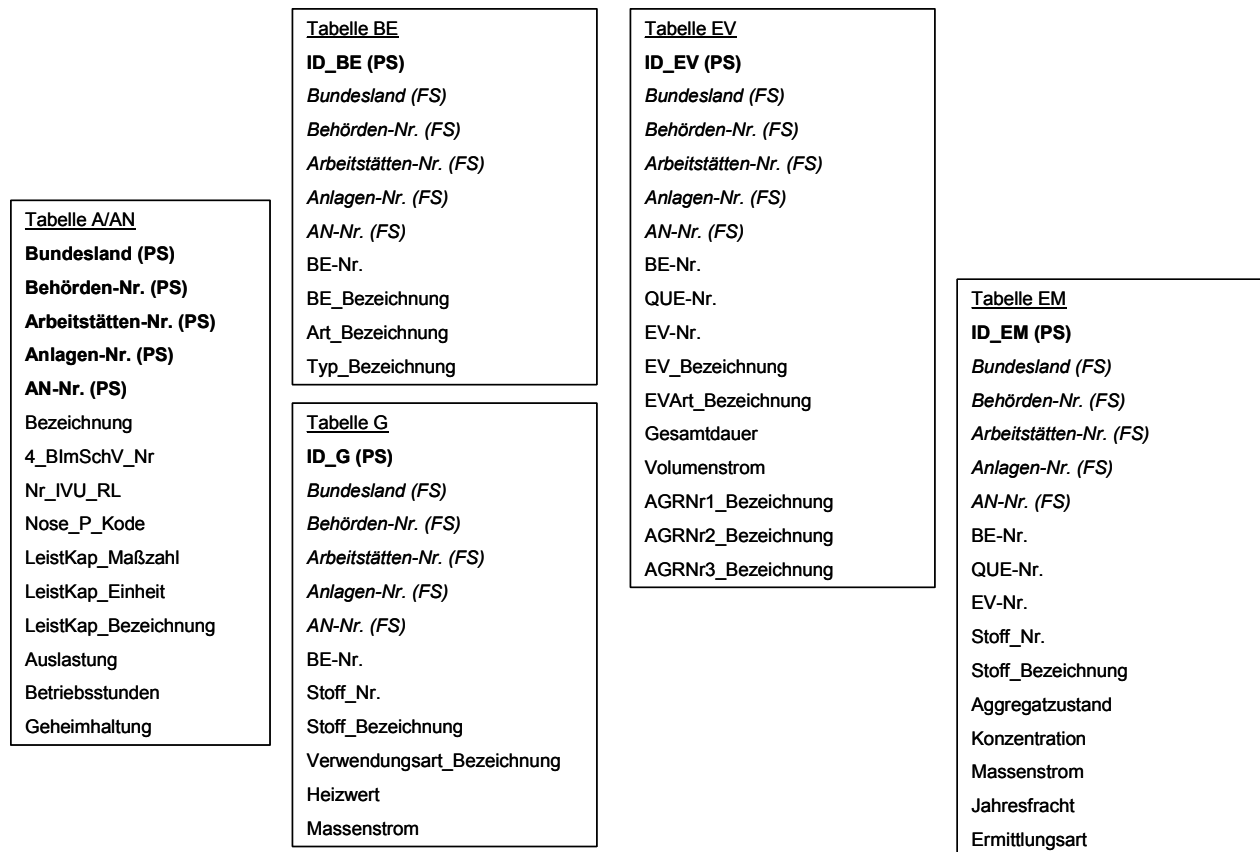


Abbildung 23: Aufbau der Access-Datenbank zur Auswertung der Daten aus den Emissionserklärungen (PS = Primärschlüssel, FS = Fremdschlüssel)

2. Zusätzliche Datenbearbeitung

Aufgrund der angelegten Datenbankstruktur müssen die Datenfelder der Primärschlüssel zwingend mit Werten belegt sein. Wurden keine Angaben zur Behörden-, Arbeitsstätten-, Anlagen- oder AN-Nr. gemacht, so wurde entweder die Zahl Null oder eine fortlaufende Nummerierung eingetragen. Als Hilfsgrößen zur Datenzuordnung dienten dabei Rechts- und Hochwerte sowie die Anlagenleistung.

Des Weiteren musste teilweise die 4. BImSchV-Nr. aus dem NOSE-P-Kode, der IVU-Nr. und der Anlagenbezeichnung abgeleitet werden. Die Eintragungen in den Datenfeldern Stoff-Nr. und Stoff-Bezeichnung in den Tabellen G und EM waren ebenfalls nicht einheitlich formatiert, so dass zur Erreichung eines konsistenten Datenbestandes eine Nacheditierung durchgeführt wurde.

A 2 Definition von Schadstoffgruppen

Tabelle 78: Definition der PAH-Summenparameter

| 4- PAH (vgl. [36, Annex III]) | 6- PAH (Borneff, EPER vgl. [10, S. 46]) |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Benzo(a)pyren - Benzo(b)fluoranthen - Benzo(k)fluoranthen - Indeno(1,2,3-cd)pyren | <ul style="list-style-type: none"> - Benzo(a)pyren - Benzo(b)fluoranthen - Benzo(k)fluoranthen - Indeno(1,2,3-cd)pyren - Fluoranthen - Benzo(ghi)perylene |
| 8- PAH (vgl. [47, S. 249]) | 16- PAH nach EPA (vgl. [47, S. 226]) |
| <ul style="list-style-type: none"> - Benzo(a)pyren - Indeno(1,2,3-cd)pyren - Benzo(b+j+k)fluoranthen - Benzo(ghi)perylene - Anthracen - Benz(a)anthracen - Chrysen (+Triphenylen) - Dibenz(a,h)anthracen | <ul style="list-style-type: none"> - Benzo(a)pyren - Indeno(1,2,3-cd)pyren - Naphthalin - Acenaphten - Acenaphtylen - Fluoren - Phenantren - Anthracen - Fluoranthen - Pyren - Benzo(a)anthracen - Chrysen - Benzo(b)fluoranthen - Benzo(k)fluoranthen - Dibenzo(a,h)anthracen - Benzo(ghi)perylene |

Tabelle 79: PCDD/PCDF Toxizitätsequivalenzfaktoren nach NATO/CCMS und WHO [64]

| Stoffbezeichnung | I-TE nach NATO/CCMS | WHO-TE |
|--------------------------|---------------------|--------|
| 2,3,7,8-Tetra-CDD | 1,0 | 1 |
| 1,2,3,7,8-Penta-CDD | 0,5 | 1 |
| 1,2,3,4,7,8-Hexa-CDD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,6,7,8-Hexa-CDD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9-Hexa-CDD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,3,6,7,8-Hepta-CDD | 0,01 | 0,01 |
| 1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDD | 0,001 | 0,0001 |
| 2,3,7,8-Tetra-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8-Penta-CDF | 0,05 | 0,05 |
| 2,3,4,7,8-Penta-CDF | 0,5 | 0,5 |
| 1,2,3,4,7,8-Hexa-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,6,7,8-Hexa-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9-Hexa-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 2,3,4,6,7,8-Hexa-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDF | 0,01 | 0,01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF | 0,01 | 0,01 |
| 1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF | 0,001 | 0,0001 |

Tabelle 80: : Die 6 Indikator PCB (Ballschmitter PCB)

| Trivialname | Bezeichnung |
|-------------|--|
| PCB 28 | 2,4,4' Trichlor-Biphenyl |
| PCB 52 | 2,2', 5,5' Tetrachlor-Biphenyl |
| PCB 101 | 2,2', 4,5,5' Pentachlor-Biphenyl |
| PCB 138 | 2,2', 3,4,4', 5 Hexachlor-Biphenyl |
| PCB 153 | 2,2', 4,4', 5,5' Hexachlor-Biphenyl |
| PCB 180 | 2,2', 3,4,4', 5,5' Heptachlor-Biphenyl |

A 3 Kenngrößen der Emissionsfaktorenbestimmung

Thermische Abfallbehandlung

Tabelle 81: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für die thermische Abfallbehandlung

| | Anzahl EF | Berichtswert µg I-TE/t | Median µg I-TE/t | Mittelwert µg I-TE/t | MIN µg I-TE/t | MAX µg I-TE/t |
|-------------------------|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Altholz | 95 | 0,3 | 0,0890 | 0,9333 | 0,00003 | 14,45 |
| Klärschlamm | 16 | 0,12 | 0,0603 | 0,1279 | 0,00033 | 0,4 |
| Siedlungsabfälle | 90 | 0,06 | 0,0138 | 0,2048 | 0,0000002 | 5,2 |

Tabelle 82: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für die thermische Abfallbehandlung

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/t | Median mg/t | Mittelwert mg/t | MIN mg/t | MAX mg/t |
|-------------------------|-----------|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| Altholz | 85 | 17 | 6,0 | 43,3 | 0,0022 | 359 |
| Siedlungsabfälle | 32 | 0,7 | 0,465 | 2,8 | 0,0002 | 52,4 |

Tabelle 83: Kenngrößen zur Ableitung der PCB-Berichtswerte für die thermische Abfallbehandlung

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/t | Median mg/t | Mittelwert mg/t | MIN mg/t | MAX mg/t |
|-------------------------|-----------|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| Altholz | 1 | 0,21 | | | | |
| Siedlungsabfälle | 1 | 0,02 | | | | |

Zement

Tabelle 84: Kenngrößen zur Ableitung der PCB-, HCB-, PCDD/PCDF-, B(a)P-, PAH-Berichtswerte für die Zementproduktion.

| | Anzahl EF | Berichtswert µg/t | Median µg/t | Mittelwert µg/t | MIN µg/t | MAX µg/t |
|-------------------------|-----------|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| PCB | 1 | 1,0 | | | | |
| HCB | 1 | 11,0 | | | | |
| PCDD/PCDF (I-TE) | 8 | 0,025 | 0,025545 | 0,024057 | 0,0000029 | 0,050 |
| | | mg/t | mg/t | mg/t | mg/t | mg/t |
| B(a)P | 1 | 0,8 | | | | |
| PAH | 2 | 100 | 105,91 | 105,91 | 3,00 | 208,8 |

Thermische Prozesse der metallurgischen Industrie**Tabelle 85: Kenngrößen zur Ableitung PCDD/PCDF-Berichtswerte für die metallurgische Industrie.**

| | Anzahl EF | Berichtswert µg I-TE/t | Median µg I-TE/t | Mittelwert µg I-TE/t | MIN µg I-TE/t | MAX µg I-TE/t |
|-------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Sinter | 39 | 1,5 | 1,0 | 2,1 | 0,04 | 9 |
| Roheisenproduktion | 10 | 0,015 | 0,010 | 0,015 | 0,001 | 0,067 |
| Oxygenstahl | 13 | 0,1 | 0,1 | 0,097 | 0,001 | 0,211 |
| Elektrostahlproduktion | 19 | 0,5 | 0,39 | 0,798 | 0,012 | 3 |
| Giessereien, Klasse 1 | 12 | 0,02 | 0,019 | 0,033 | 0,0000002 | 0,2 |
| Giessereien, Klasse 2 | 2 | 0,68 | 0,68 | 0,68 | 0,25 | 1,1 |
| Sekundäraluminium | 4 | 0,5 | 0,42 | 0,44 | 0,160 | 0,75 |

Tabelle 86: Kenngrößen zur Ableitung B(a)P-Berichtswerte für die metallurgische Industrie.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/t | Median mg/t | Mittelwert mg/t | MIN mg/t | MAX mg/t |
|-------------------------------|-----------|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| Sinter | 2 | 1 | 1,08 | 1,08 | 0,069 | 2,1 |
| Roheisenproduktion | 2 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 1,5 | 3,6 |
| Elektrostahlproduktion | 2 | 10 | 10,2 | 10,2 | 3,4 | 17 |
| Giessereien | 7 | 10 | 0,09 | 20,23 | 0,000215 | 125 |
| Primäraluminium | 1 | 4 | | | | |

Tabelle 87: Kenngrößen zur Ableitung PAH-Berichtswerte für die metallurgische Industrie.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/t | Median mg/t | Mittelwert mg/t | MIN mg/t | MAX mg/t |
|-------------------------------|-----------|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| Sinter | 5 | 35 | 27,5 | 34,8 | 1,4 | 77,5 |
| Oxygenstahl | 2 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,08 | 0,16 |
| Elektrostahlproduktion | 4 | 43 | 42,9 | 42,9 | 0,875 | 85 |
| Giessereien | 2 | 100 | 117 | 117 | | |
| Primäraluminium | 1 | 80 | | | | |

Tabelle 88: Kenngrößen zur Ableitung PCB-Berichtswerte für die metallurgische Industrie.

| | Anzahl EF | Berichtswert µg/t | Median µg/t | Mittelwert µg/t | MIN µg/t | MAX µg/t |
|---------------|-----------|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| Sinter | 2 | 600 | 0,559 | 0,559 | 0,20 | 0,92 |

| | | | | | | |
|-------------|---|-----|--|--|--|--|
| Oxygenstahl | 1 | 3,6 | | | | |
|-------------|---|-----|--|--|--|--|

Feuerungsanlagen

Tabelle 89: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für Großfeuerungsanlagen, TA Luft Anlagen, Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinen.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg I-TE/TJ | Median mg I-TE/TJ | Mittelwert mg I-TE/TJ | MIN mg I-TE/TJ | MAX mg I-TE/TJ |
|--|-----------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| GFA | | | | | | |
| Erdgas | 4 | 0,0002 | 0,0004 | 0,0007 | 0,000001 | 0,002000 |
| Heizöl EL | 32 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0010 | 0,000491 | 0,010000 |
| Heizöl S | 2 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0025 | 0,002500 | 0,002512 |
| Steinkohle | 48 | 0,0020 | 0,0017 | 0,0036 | 0,000000 | 0,060000 |
| Rohbraunkohle | 12 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,000000 | 0,000463 |
| TA Luft Anlagen | | | | | | |
| Brennholz (naturbelassen + Resthölzer) | 108 | 0,02 | 0,0051 | 0,0331 | 0,000698 | 1,09 |
| Heizöl EL | 91 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0007 | 0,000025 | 0,010 |
| Heizöl S | 36 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0022 | 0,000002 | 0,00726 |
| Steinkohle | 34 | 0,01 | 0,0104 | 0,0111 | 0,001940 | 0,219 |
| Verbrennungsmotoranlagen, Gasturbinen | | | | | | |
| Heizöl EL | 83 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0078 | 0,000067 | 0,528028 |

Tabelle 90: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für Großfeuerungsanlagen, TA Luft Anlagen, Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinen.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/TJ | Median mg/TJ | Mittelwert mg/TJ | MIN mg/TJ | MAX mg/TJ |
|---|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------|--------------|
| GFA | | | | | | |
| Erdgas | 1 | 1 | | | | |
| Heizöl EL | 31 | 470 | 467 | 612 | 30 | 4186 |
| Heizöl S | 1 | 56 | | | | |
| Steinkohle | 39 | 14 | 13,9 | 56,4 | 0,00622 | 754 |
| Rohbraunkohle | 3 | 14 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 |
| TA Luft Anlagen | | | | | | |
| Brennholz, naturbelassen + Resthölzer | 106 | 370 | 363 | 1562 | 49,33 | 12000 |
| Heizöl EL | 116 | 470 | 468 | 607 | 23,42 | 1889 |
| Heizöl S | 34 | 56 | 561 | 539 | 0,51 | 1621 |
| Steinkohle | 33 | 70 | 71 | 530 | 10 | 4910 |
| Verbrennungsmotoren, Gasturbinen | | | | | | |
| Erdgas | 2 | 1,0 | 2,2 | 2,2 | 0,06 | 4,35 |
| Heizöl EL | 95 | 470 | 468 | 659 | 62,5 | 2305 |

Tabelle 91: Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte für Großfeuerungsanlagen, TA Luft Anlagen, Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinen.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/TJ | Median mg/TJ | Mittelwert mg/TJ | MIN mg/TJ | MAX mg/TJ |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------|--------------|
| GFA | | | | | | |
| Erdgas | 1 | 2,8 | | | | |
| Heizöl, leicht | 1 | 2800 | | | | |
| Steinkohle | 3 | 40 | 41,1 | 43,8 | 26,1 | 64,2 |
| Rohbraunkohle | 1 | 90 | | | | |
| TA Luft Anlagen | | | | | | |
| Brennholz, naturbelassen + Resthölzer | 2 | 20000 | 22862 | 22862 | 5723 | 40000 |
| Heizöl EL | 1 | 3800 | | | | |
| Steinkohle | 1 | 15000 | | | | |

Koks- und Anodenproduktion**Tabelle 92: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-, B(a)P, PAH-Berichtswerte für die Koks- und Anodenproduktion.**

| | Anzahl EF | Berichtswert | Median | Mittelwert | MIN | MAX |
|-------------------------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| PCDD/PCDF | | µg I-TE/t | µg I-TE/t | µg I-TE/t | µg I-TE/t | µg I-TE/t |
| Koksproduktion | 3 | 0,20 | 0,27 | 0,20 | 0,036 | 0,3 |
| B(a)P | | g/t | g/t | g/t | g/t | g/t |
| Koksproduktion | 3 | 0,01302 | 0,01302 | 0,04113 | 0,01302 | 0,09734 |
| Anodenproduktion | 4 | 0,024 | 0,029 | 0,020 | 0,05 | 1,14 |
| PAH | | g/t | g/t | g/t | g/t | g/t |
| Koksproduktion | 1 | 0,260 | | | | |
| Anodenproduktion | 1 | 0,3 | | | | |

Transport und Verkehr**Tabelle 93: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für den Sektor Transport und Verkehr.**

| | Anzahl EF | Berichtswert µg I-TE/t fuel | Median µg I-TE/t fuel | Mittelwert µg I-TE/t fuel | MIN µg I-TE/t fuel | MAX µg I-TE/t fuel |
|------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| PKW, Benzin, ohne Kat | 3 | 0,12 | 0,12 | 0,116 | 0,1 | 0,127 |
| PKW, Benzin, mit Kat | 4 | 0,02 | 0,013 | 0,03 | 0 | 0,093 |
| PKW, Diesel | 4 | 0,0571 | 0,057 | 0,059 | 0,021 | 0,1 |
| LNF, Benzin, ohne Kat | 3 | 0,12 | 0,12 | 0,116 | 0,1 | 0,127 |
| LNF, Benzin, mit Kat | 4 | 0,02 | 0,013 | 0,03 | 0 | 0,093 |
| LNF, Diesel | 4 | 0,07 | 0,079 | 0,070 | 0,0214 | 0,1 |
| SNF, Diesel | 5 | 0,0667 | 0,067 | 0,062 | 0,0214 | 0,1 |
| UEKB, Diesel | 1 | 4 | | | | |

Tabelle 94: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für den Sektor Transport und Verkehr.

| | Anzahl EF | Berichtswert | Median | Mittelwert | MIN | MAX |
|-----------------------|-----------|--------------|--------|------------|-------|-------|
| | | µg/km | µg/km | µg/km | µg/km | µg/km |
| PKW, Benzin, ohne Kat | 3 | 0,44 | 0,43 | 0,437 | 0,4 | 0,48 |
| PKW, Benzin, mit Kat | 10 | 0,11 | 0,09 | 0,157 | 0,02 | 0,4 |
| PKW, Diesel | 4 | 0,67 | 0,675 | 0,670 | 0,63 | 0,7 |
| LNF, Benzin, ohne Kat | 3 | 0,44 | 0,43 | 0,437 | 0,4 | 0,48 |
| LNF, Benzin, mit Kat | 10 | 0,11 | 0,09 | 0,157 | 0,02 | 0,4 |
| LNF, Diesel | 4 | 0,67 | 0,675 | 0,67 | 0,63 | 0,7 |
| SNF, Diesel | 4 | 0,9 | 0,95 | 0,868 | 0,57 | 1 |
| | | µg/t | µg/t | µg/t | µg/t | µg/t |
| SCHI Dieselkraftstoff | 1 | 30000 | | | | |
| UEKB, Diesel | 1 | 30000 | | | | |

Tabelle 95: Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte für den Sektor Transport und Verkehr.

| | Anzahl EF | Berichtswert | Median | Mittelwert | MIN | MAX |
|-----------------------|-----------|--------------|--------|------------|-------|-------|
| | | µg/km | µg/km | µg/km | µg/km | µg/km |
| PKW, Benzin, ohne Kat | 2 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 1,9 | 2,7 |
| PKW, Benzin, mit Kat | 3 | 0,60 | 0,58 | 0,66 | 0,06 | 1,3 |
| PKW, Diesel | 3 | 2,4 | 2,3 | 2,5 | 2,1 | 3,0 |
| LNF, Benzin, ohne Kat | 1 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 1,9 | 2,7 |
| LNF, Benzin, mit Kat | 3 | 0,6 | 0,58 | 0,66 | 0,06 | 1,33 |
| LNF, Diesel | 3 | 2,4 | 2,3 | 2,5 | 2,12 | 2,96 |
| SNF, Diesel | 2 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 12,9 | 13,8 |
| | | mg/t | mg/t | mg/t | mg/t | mg/t |
| UEKB, Diesel | 1 | 40 | | | | |

Krematorien

Tabelle 96: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für Krematorien.

| Anzahl EF | Berichtswert | Median | Mittelwert | MIN | MAX |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | µg/Kremation | µg/Kremation | µg/Kremation | µg/Kremation | µg/Kremation |
| 3 | 0,4 | 0,4 | 0,46679 | 0,00037 | 1 |

Haushalte und übrige Kleinverbraucher**Tabelle 97: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher**

| | Anzahl EF | Berichtswert [mg I-TE/TJ] | Median [mg I-TE/TJ] | Mittelwert [mg I-TE/TJ] | MIN [mg I-TE/TJ] | MAX [mg I-TE/TJ] |
|--|-----------|------------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Haushalte (Kesselanlagen) | | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | 14 | 0,0300 | 0,0240 | 0,0334 | 0,013000 | 0,088400 |
| Brennholz, naturbelassen | 21 | 0,0400 | 0,0416 | 0,0368 | 0,0076 | 0,070000 |
| Erdgas | 17 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0015 | 0,000000 | 0,002500 |
| Heizöl, leicht | 29 | 0,0030 | 0,0016 | 0,0023 | 0,0001 | 0,010000 |
| Steinkohle/Steinkohlenbriketts/-Koks | 33 | 0,0400 | 0,02910 | 0,04841 | 0,009400 | 0,200000 |
| Heizöl schwer | 1 | 0,001 | | | | |
| Haushalte (Mobile Quellen) | | | | | | |
| Ottokraftstoff | 1 | 0,0575 | | | | |
| Haushalte (Kamine/Öfen) | | | | | | |
| Steinkohle/-briketts/-koks | 12 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,01 | 0,3 |
| Brennholz (naturbelassen) | 30 | 0,04 | 0,039 | 0,08 | 0,01 | 0,41 |
| Braunkohlebriketts | 17 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,01 | 0,3 |
| UEKV (Kesselanlagen) | | | | | | |
| Braunkohlenbriketts/-koks | 15 | 0,03 | 0,019 | 0,032 | 0,0128 | 0,1063 |
| Brennholz (naturbelassen + Resthölzer) | 27 | 0,4 | 0,3524 | 0,3787 | 0,0230 | 0,84 |
| Erdgas | 14 | 0,0017 | 0,00165 | 0,00157 | 0,00003 | 0,0025 |
| Heizöl, leicht | 13 | 0,003 | 0,0025 | 0,003 | 0,0001 | 0,01 |
| Steinkohle/-koks | 16 | 0,03 | 0,0233 | 0,0304 | 0,0045 | 0,2 |
| UEKV (Kamine/Öfen) | | | | | | |
| Steinkohlenbriketts/Steinkohle/-koks | 9 | 0,04 | 0,0409 | 0,0373 | 0,0098 | 0,0624 |
| Braunkohlenbriketts | 16 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,04 |

Tabelle 98: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/TJ | Median mg/TJ | Mittelwert mg/TJ | MIN mg/TJ | MAX mg/TJ |
|-----------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------|--------------|
| Haushalte (Kesselanlagen) | | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | 5 | 50000 | 50000 | 54414 | 17000 | 96571 |
| Brennholz, naturbelassen | 9 | 100000 | 100000 | 103975 | 12000 | 210000 |
| Heizöl, leicht | 5 | 1000 | 752 | 1.244 | 80,3 | 2.419 |
| Steinkohle/-briketts/-koks | 9 | 20000 | 17.164 | 28.605 | 3193 | 50.505 |
| Heizöl schwer | 1 | 4838 | | | | |
| Haushalte (Mobile Quellen) | | | | | | |
| Ottokraftstoff | 1 | 920 | | | | |
| Haushalte (Kamine/Öfen) | | | | | | |
| Alle Kohlearten | 3 | 155000 | 150000 | 166667 | 100000 | 250000 |
| Holz | 10 | 140000 | 135667 | 140467 | 4000 | 333333 |
| UEKV (Kesselanlagen) | | | | | | |
| Braunkohlenbriketts/ -koks | 5 | 40000 | 30000 | 43700 | 17000 | 90000 |

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/TJ | Median mg/TJ | Mittelwert mg/TJ | MIN mg/TJ | MAX mg/TJ |
|---------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------|--------------|
| Brennholz | 8 | 60000 | 55000 | 62113 | 12000 | 130000 |
| Erdgas | 3 | 40 | 36 | 46 | 30 | 71 |
| Heizöl, leicht | 5 | 600 | 515 | 779 | 101 | 2419 |
| Steinkohle/-briketts/koks | 8 | 20000 | 17081 | 26433 | 1113 | 63000 |
| Rohbraunkohle | 5 | 60000 | 63000 | 58990 | 17000 | 100000 |
| UEKV (Kamine/Öfen) | | | | | | |
| Alle Kohlearten | 2 | 125000 | 125000 | 125000 | 100000 | 150000 |
| Brennholz | 3 | 130000 | 130000 | 108333 | 15000 | 180000 |

Tabelle 99: Kenngrößen zur Ableitung der PAH-Berichtswerte für die Haushalte und übrigen Kleinverbraucher.

| | Anzahl EF | Berichtswert mg/TJ | Median mg/TJ | Mittelwert mg/TJ | MIN mg/TJ | MAX mg/TJ |
|-------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------|--------------|
| Haushalte (Kesselanlagen) | | | | | | |
| Braunkohlenbriketts | 6 | 270000 | 220000 | 283333 | 50000 | 580000 |
| Brennholz, naturbelassen | 8 | 190000 | 40000 | 191.250 | 30000 | 700.000 |
| Heizöl, leicht | 3 | 4000 | 3814 | 11871 | 1800 | 30000 |
| Steinkohle/-briketts/-koks | 5 | 160000 | 137700 | 165365 | 50000 | 398990 |
| Haushalte (Kamine/Öfen) | | | | | | |
| Steinkohlebriketts/Steinkohle/-koks | 14 | 300000 | 262533 | 330707 | 40925 | 640000 |
| Brennholz | 21 | 400000 | 270000 | 508.215 | 7.467 | 1.599.563 |
| Braunkohlebriketts | 5 | 400000 | 390000 | 460200 | 210000 | 750000 |
| UEKV (Kesselanlagen) | | | | | | |
| Braunkohlenbriketts/-koks | 11 | 200000 | 190000 | 247273 | 50000 | 580000 |
| Brennholz | 9 | 150000 | 150000 | 140000 | 30000 | 280000 |
| Heizöl, leicht | 6 | 4000 | 200 | 7433 | 100 | 26000 |
| Steinkohle/-koks | 13 | 130000 | 110000 | 135385 | 50000 | 290000 |
| UEKV (Kamine/Öfen) | | | | | | |
| Brennholz | 9 | 300000 | 270000 | 34975000 | 7467 | 1020000 |
| Steinkohlebriketts/Steinkohle/-koks | 10 | 260000 | 150000 | 280989 | 40952 | 640000 |
| Braunkohlebriketts | 6 | 300000 | 300000 | 355166 | 20000 | 750000 |

Offene Verbrennung

Tabelle 100: Kenngrößen zur Ableitung der PCDD/PCDF-Berichtswerte für die offene Verbrennung

| | Anzahl EF | Berichtswert µg I-TE/t | Median µg I-TE/t | Mittelwert µg I-TE/t | MIN µg I-TE/t | MAX µg I-TE/t |
|---------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Biomasse | 5 | 5 | 5,0 | 5,1 | 0,5 | 30 |
| Waldbrände | 1 | 5 | | | | |
| Illegale Müllverbrennung | 5 | 300 | 300,0 | 354,0 | 10 | 1000 |
| | | µg/Brand | | | | |
| Brandunfälle | | | | | | |
| Gebäude | 1 | 50 | | | | |
| Industrie | 1 | 550 | | | | |
| Fahrzeuge | 1 | 10 | | | | |

| | | | | | | |
|----------------|---|-----|--|--|--|--|
| Landwirtschaft | 1 | 250 | | | | |
| Kleinteile | 1 | 14 | | | | |

Tabelle 101: Kenngrößen zur Ableitung der B(a)P-Berichtswerte für Brandunfälle.

| | Anzahl EF | Berichtswert g/t | Median g/t | Mittelwert g/t | MIN g/t | MAX g/t |
|----------------------|-----------|---------------------|---------------|-------------------|------------|------------|
| Brandunfälle | | | | | | |
| Gebäude | 1 | 0,63 | | | | |
| Fahrzeuge | 1 | 5,79 | | | | |
| Landwirtschaft | 1 | 0,63 | | | | |
| Industrieanlagen | 1 | 1,72 | | | | |
| Kleinteile/Sonstiges | 1 | 0,012 | | | | |

A 4 Emissionsprognosen

Tabelle 102: Prognosen der AR der Quellkategorien aus dem ZSE [62] und zugehörige Abweichungen vom Berichtswert. Kursiv gedruckt sind Quellgruppen ohne AR bzw. Prognose im ZSE.

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max |
| Therm. Abfallbehandlung | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| Siedlungsabfälle | 17.550.800 | 17.800.000 | 18.049.200 | 17.497.400 | 17.800.000 | 18.102.600 | 17.444.000 | 17.800.000 | 18.156.000 |
| Industrieabfälle | 8.118.891 | 8.234.170 | 8.349.448 | 7.491.626 | 7.621.186 | 7.750.746 | 6.868.038 | 7.008.202 | 7.148.366 |
| <i>Klärschlamm³⁹</i> | <i>477.300</i> | <i>555.000</i> | <i>632.700</i> | <i>460.650</i> | <i>555.000</i> | <i>649.350</i> | <i>444.000</i> | <i>555.000</i> | <i>666.000</i> |
| <i>Altholz³⁹</i> | <i>1.892.000</i> | <i>2.200.000</i> | <i>2.508.000</i> | <i>1.826.000</i> | <i>2.200.000</i> | <i>2.574.000</i> | <i>1.760.000</i> | <i>2.200.000</i> | <i>2.640.000</i> |
| Zementherstellung | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| Zementöfen | 34.559.300 | 35.050.000 | 35.540.700 | 34.208.400 | 34.800.000 | 35.391.600 | 33.859.000 | 34.550.000 | 35.241.000 |
| Zellstoff- u. Papierind. | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| Sulfatzellstoff | 770.559 | 781.500 | 792.441 | 768.215 | 781.500 | 794.786 | 765.870 | 781.500 | 797.130 |
| Sulfitzellstoff | 608.006 | 616.639 | 625.272 | 606.156 | 616.639 | 627.122 | 604.306 | 616.639 | 628.972 |
| Metallurg. Industrie | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| Sinter | 20.450.800 | 23.780.000 | 27.109.200 | 18.616.900 | 22.430.000 | 26.243.100 | 16.864.000 | 21.080.000 | 25.296.000 |
| Oxygenstahl | 27.716.460 | 28.110.000 | 28.503.540 | 26.064.245 | 26.515.000 | 26.965.755 | 24.421.600 | 24.920.000 | 25.418.400 |
| Elektrostahl | 14.484.340 | 14.690.000 | 14.895.660 | 15.590.380 | 15.860.000 | 16.129.620 | 16.689.400 | 17.030.000 | 17.370.600 |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | 3.691.584 | 3.744.000 | 3.796.416 | 3.680.352 | 3.744.000 | 3.807.648 | 3.669.120 | 3.744.000 | 3.818.880 |
| Roheisenproduktion | 25.862.780 | 26.230.000 | 26.597.220 | 24.319.420 | 24.740.000 | 25.160.580 | 22.785.000 | 23.250.000 | 23.715.000 |
| Hüttenaluminium | 640.900 | 650.000 | 659.100 | 417.775 | 425.000 | 432.225 | 196.000 | 200.000 | 204.000 |
| Sekundäraluminium | 673.701 | 683.267 | 692.833 | 671.651 | 683.267 | 694.883 | 669.602 | 683.267 | 696.932 |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | 244.240 | 284.000 | 323.760 | 235.720 | 284.000 | 332.280 | 227.200 | 284.000 | 340.800 |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | 317.340 | 369.000 | 420.660 | 306.270 | 369.000 | 431.730 | 295.200 | 369.000 | 442.800 |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | 99.760 | 116.000 | 132.240 | 96.280 | 116.000 | 135.720 | 92.800 | 116.000 | 139.200 |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | 208.980 | 243.000 | 277.020 | 201.690 | 243.000 | 284.310 | 194.400 | 243.000 | 291.600 |

³⁹ Keine AR bzw. Prognosen im ZSE. Berichtswerte werden als konstant angenommen, lediglich die Bereiche der Unsicherheiten werden verändert für die Emissionsprognosen

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max |
| Zink (primäre Vorstoffe) | 216.720 | 252.000 | 287.280 | 209.160 | 252.000 | 294.840 | 201.600 | 252.000 | 302.400 |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | | | | | | | | | |
| Umschmelzzink | 86.000 | 100.000 | 114.000 | 83.000 | 100.000 | 117.000 | 80.000 | 100.000 | 120.000 |
| Wälzrohrzink | 25.800 | 30.000 | 34.200 | 24.900 | 30.000 | 35.100 | 24.000 | 30.000 | 36.000 |
| Offene Verbrennung³⁹ | Brände/a | Brände/a | Brände/a | Brände/a | Brände/a | Brände/a | Brände/a | Brände/a | Brände/a |
| <i>Brandunfälle Gebäude</i> | 56.760 | 66.000 | 75.240 | 54.780 | 66.000 | 77.220 | 52.800 | 66.000 | 79.200 |
| <i>Brandunfälle Industrieanlagen</i> | 12.040 | 14.000 | 15.960 | 11.620 | 14.000 | 16.380 | 11.200 | 14.000 | 16.800 |
| <i>Brandunfälle Landwirtschaft</i> | 5.160 | 6.000 | 6.840 | 4.980 | 6.000 | 7.020 | 4.800 | 6.000 | 7.200 |
| <i>Brandunfälle Fahrzeuge</i> | 18.920 | 22.000 | 25.080 | 18.260 | 22.000 | 25.740 | 17.600 | 22.000 | 26.400 |
| <i>Brandunfälle Sonstiges/Kleinteile</i> | 63.640 | 74.000 | 84.360 | 61.420 | 74.000 | 86.580 | 59.200 | 74.000 | 88.800 |
| | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| <i>Waldbrände Brandgutmenge/a</i> | 3.630 | 5.500 | 7.370 | 3.190 | 5.500 | 7.810 | 2.750 | 5.500 | 8.250 |
| <i>Offene Verbrennung von Biomasse Garten- und Parkabfälle, Schlagabraum</i> | 7.500 | | 75.000 | 7.500 | | 75.000 | 7.500 | | 75.000 |
| <i>Illegale Müllverbrennung</i> | 4.000 | | 40.000 | 4.000 | | 40.000 | 4.000 | | 40.000 |
| HH und UEKV | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a |
| UEKV Kessel Braunkohlenbriketts | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 3 | 4 | 4 |
| UEKV Kessel Braunkohlenkoks | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kessel Brennholz (Resthölzer) | 1.584 | 1.842 | 2.100 | 1.274 | 1.535 | 1.796 | 983 | 1.229 | 1.229 |
| UEKV Kessel Erdgas | 409.126 | 414.935 | 420.744 | 401.651 | 408.597 | 415.543 | 394.214 | 402.259 | 410.304 |
| UEKV Kessel Flüssiggas | 12.658 | 12.838 | 13.018 | 13.521 | 13.755 | 13.989 | 14.379 | 14.672 | 14.965 |
| UEKV Kessel Heizöl, leicht | 220.407 | 223.537 | 226.667 | 212.762 | 216.441 | 220.120 | 205.157 | 209.344 | 213.531 |
| UEKV Kessel Klärgas | 198 | 201 | 204 | 211 | 215 | 219 | 225 | 230 | 235 |
| UEKV Kessel Petroleum | 22 | 22 | 22 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 |
| UEKV Kessel Steinkohle | 1.529 | 1.778 | 2.027 | 922 | 1.111 | 1.300 | 356 | 445 | 534 |
| UEKV Kessel Steinkohlenkoks | 1.176 | 1.368 | 1.560 | 710 | 855 | 1.000 | 274 | 342 | 410 |
| HH Kessel Braunkohlenbriketts | 940 | 1.093 | 1.246 | 567 | 684 | 800 | 220 | 275 | 330 |
| HH Kessel Brennholz (naturbelassen) | 37.803 | 43.957 | 50.111 | 36.484 | 43.957 | 51.430 | 35.166 | 43.957 | 52.748 |
| HH Kessel Erdgas | 1.181.228 | 1.198.000 | 1.214.772 | 1.209.582 | 1.230.500 | 1.251.419 | 1.237.740 | 1.263.000 | 1.288.260 |
| HH Kessel Flüssiggas | 13.804 | 14.000 | 14.196 | 12.288 | 12.500 | 12.713 | 10.780 | 11.000 | 11.220 |
| HH Kessel Heizöl, leicht | 809.463 | 820.956 | 832.449 | 769.648 | 782.958 | 796.268 | 730.061 | 744.960 | 759.859 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------------------|------------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| | | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max |
| HH Kessel | Petroleum | 43 | 44 | 45 | 41 | 42 | 43 | 39 | 40 | 41 |
| HH Kessel | Steinkohle | 132 | 154 | 175 | 80 | 96 | 112 | 31 | 38 | 46 |
| HH Kessel | Steinkohlenkoks | 48 | 56 | 64 | 29 | 35 | 41 | 11 | 14 | 17 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenbriketts | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,06 | 0,08 | 0,10 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenkoks | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kamine | Brennholz (naturbelassen) | 176 | 205 | 233 | 142 | 171 | 200 | 109 | 137 | 164 |
| UEKV Kamine | Steinkohle | 31 | 36 | 41 | 19 | 23 | 27 | 7 | 9 | 11 |
| UEKV Kamine | Steinkohlenkoks | 62 | 72 | 82 | 37 | 45 | 53 | 14 | 18 | 22 |
| HH Kamine | Braunkohlenbriketts | 3.759 | 4.371 | 4.983 | 2.270 | 2.735 | 3.200 | 880 | 1.099 | 1.319 |
| HH Kamine | Brennholz (naturbelassen) | 97.208 | 113.032 | 128.857 | 93.817 | 113.032 | 132.248 | 90.426 | 113.032 | 135.638 |
| HH Kamine | Steinkohle | 443 | 515 | 587 | 267 | 322 | 377 | 103 | 129 | 154 |
| HH Kamine | Steinkohlenbriketts | 646 | 751 | 856 | 390 | 470 | 550 | 150 | 188 | 226 |
| HH Kamine | Steinkohlenkoks | 921 | 1.071 | 1.221 | 555 | 669 | 782 | 214 | 268 | 321 |
| HH mobile Quellen | Ottokraftstoff | 2.361 | 2.395 | 2.429 | 2.354 | 2.395 | 2.436 | 2.347 | 2.395 | 2.443 |
| KFA Militär | Erdgas | 8.624 | 8.746 | 8.868 | 8.466 | 8.612 | 8.758 | 8.308 | 8.478 | 8.648 |
| KFA Militär | Flüssiggas | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| KFA Militär | Heizöl, leicht | 287 | 291 | 295 | 277 | 282 | 287 | 267 | 272 | 277 |
| Feuerungsanlagen | | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a | TJ/a |
| GFA | Andere Mineralölprodukte | 24.908 | 25.262 | 25.616 | 23.665 | 24.074 | 24.483 | 22.395 | 22.852 | 23.309 |
| GFA | Braunkohlenkoks | 1.209 | 1.226 | 1.243 | 1.163 | 1.184 | 1.204 | 966 | 985 | 1.005 |
| GFA | Erdgas | 288.014 | 292.103 | 296.193 | 270.332 | 275.007 | 279.682 | 252.640 | 257.796 | 262.952 |
| GFA | Flüssiggas | 14.422 | 14.627 | 14.832 | 13.787 | 14.025 | 14.264 | 13.209 | 13.479 | 13.748 |
| GFA | Gichtgas | 119.567 | 121.265 | 122.962 | 107.414 | 109.272 | 111.129 | 95.332 | 97.278 | 99.223 |
| GFA | Grubengas | 3.231 | 3.277 | 3.323 | 2.888 | 2.937 | 2.987 | 2.610 | 2.664 | 2.717 |
| GFA | Hartbraunkohle | 36.087 | 36.600 | 37.112 | 37.206 | 37.850 | 38.493 | 38.315 | 39.097 | 39.879 |
| GFA | Heizöl EL | 10.513 | 10.662 | 10.812 | 7.599 | 7.731 | 7.862 | 4.794 | 4.892 | 4.990 |
| GFA | Heizöl schwer | 121.401 | 123.124 | 124.848 | 108.957 | 110.841 | 112.725 | 96.587 | 98.558 | 100.529 |
| GFA | Kokerei-/Stadtgas | 45.769 | 46.419 | 47.069 | 39.101 | 39.777 | 40.454 | 32.633 | 33.299 | 33.965 |
| GFA | Petrolkoks | 24.246 | 24.591 | 24.935 | 23.696 | 24.106 | 24.516 | 23.085 | 23.556 | 24.027 |
| GFA | Raffineriegas | 160.543 | 162.822 | 165.102 | 156.213 | 158.915 | 161.616 | 152.834 | 155.953 | 159.072 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------------|--|-----------|-------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|
| | | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max |
| GFA | Rohbenzin | 2.268 | 2.300 | 2.332 | 2.261 | 2.300 | 2.339 | 2.156 | 2.200 | 2.244 |
| GFA | Rohbraunkohle Staub- /Trockenkohle | 1.379.617 | 1.399.206 | 1.418.795 | 1.419.272 | 1.443.817 | 1.468.362 | 1.454.372 | 1.484.053 | 1.513.734 |
| GFA | Steinkohle | 9.744 | 9.883 | 10.021 | 10.045 | 10.219 | 10.392 | 10.341 | 10.552 | 10.763 |
| GFA | Andere Mineralölprodukte | 1.276.512 | 1.294.637 | 1.312.762 | 1.440.585 | 1.465.498 | 1.490.411 | 1.602.214 | 1.634.912 | 1.667.610 |
| TA Luft | Braunkohlenbriketts Holz (naturbelassen + Restholz) | 2.738 | 2777 | 2.816 | 2.727 | 2774 | 2.821 | 2.715 | 2771 | 2.826 |
| TA Luft | Erdgas | 6.056 | 6142 | 6.228 | 6.088 | 6193 | 6.298 | 6.104 | 6228 | 6.353 |
| TA Luft | | 56 | 57 | 58 | 47 | 48 | 49 | 37 | 38 | 39 |
| TA Luft | Erdgas | 225.987 | 229196 | 232.405 | 225.355 | 229252 | 233.150 | 225.021 | 229614 | 234.206 |
| TA Luft | Grubengas | 1.517 | 1539 | 1.561 | 1.151 | 1171 | 1.191 | 1.016 | 1037 | 1.058 |
| TA Luft | Hartbraunkohle | 265 | 269 | 273 | 255 | 260 | 264 | 213 | 218 | 222 |
| TA Luft | Heizöl EL | 99.355 | 100766 | 102.177 | 91.189 | 92766 | 94.343 | 83.139 | 84835 | 86.532 |
| TA Luft | Heizöl schwer | 16.500 | 16734 | 16.968 | 13.896 | 14136 | 14.377 | 11.308 | 11539 | 11.770 |
| TA Luft | Klärgas | 11.536 | 11700 | 11.864 | 11.010 | 11200 | 11.390 | 10.388 | 10600 | 10.812 |
| TA Luft | Kokerei-/Stadtgas | 1.771 | 1796 | 1.821 | 1.405 | 1429 | 1.453 | 1.248 | 1273 | 1.299 |
| TA Luft | Raffineriegas | 2.143 | 2173 | 2.203 | 1.583 | 1610 | 1.637 | 1.026 | 1047 | 1.068 |
| TA Luft | Rohbraunkohle Staub- /Trockenkohle | 4.333 | 4394 | 4.456 | 3.807 | 3873 | 3.939 | 3.377 | 3446 | 3.515 |
| TA Luft | Steinkohle | 8.781 | 8905 | 9.030 | 8.667 | 8817 | 8.967 | 8.447 | 8620 | 8.792 |
| TA Luft | Steinkohlenkoks Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | 54.187 | 54957 | 55.726 | 54.493 | 55435 | 56.377 | 54.645 | 55760 | 56.875 |
| TA Luft | | 27.513 | 27903 | 28.294 | 26.982 | 27449 | 27.915 | 26.455 | 26995 | 27.535 |
| TA Luft | | 60.630 | 70.500 | 80.370 | 58.515 | 70.500 | 82.485 | 56.400 | 70.500 | 84.600 |
| TA Luft | Pflanzenöl | 732 | 851 | 970 | 706 | 851 | 996 | 681 | 851 | 1.021 |
| TA Luft | Biogas | 10.320 | 12.000 | 13.680 | 9.960 | 12.000 | 14.040 | 9.600 | 12.000 | 14.400 |
| Motor / Turbine | Deponiegas | 2.610 | 2647 | 2.684 | 2.755 | 2803 | 2.851 | 2.912 | 2971 | 3.031 |
| Motor / Turbine | Diesekraftstoff | 438 | 444 | 450 | 281 | 285 | 290 | 124 | 127 | 129 |
| Motor / Turbine | Erdgas | 434.370 | 440.537 | 446.705 | 455.843 | 463.726 | 471.609 | 477.741 | 487.491 | 497.241 |
| Motor / Turbine | Heizöl EL | 13.217 | 13.404 | 13.592 | 8.662 | 8.811 | 8.961 | 4.156 | 4.241 | 4.326 |
| Motor / Turbine | Klärgas | 473 | 480 | 487 | 506 | 515 | 524 | 542 | 553 | 564 |

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max |
| Krematorien⁴⁰ | K | K | K | K | K | K | K | K | K |
| <i>Kremationen</i> | 333.401 | 338.135 | 342.869 | 332.387 | 338.135 | 343.883 | 331.372 | 338.135 | 344.898 |
| Transport u. Verkehr | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| PKW ohne Benzin | 240.382 | 243.795 | 247.208 | 92.691 | 94.294 | 95.897 | 14.138 | 14.426 | 14.715 |
| PKW mit Benzin | 16.997.555 | 17.238.900 | 17.480.244 | 13.464.074 | 13.696.922 | 13.929.769 | 11.746.005 | 11.985.719 | 12.225.434 |
| PKW Diesel | 13.916.734 | 14.114.335 | 14.311.935 | 15.393.738 | 15.659.958 | 15.926.177 | 15.583.165 | 15.901.189 | 16.219.213 |
| Busse Diesel | 1.093.393 | 1.108.918 | 1.124.443 | 1.055.548 | 1.073.802 | 1.092.057 | 1.017.912 | 1.038.686 | 1.059.459 |
| SNF Diesel | 13.284.277 | 13.472.898 | 13.661.519 | 13.297.190 | 13.527.151 | 13.757.113 | 13.519.871 | 13.795.787 | 14.071.703 |
| LNF ohne Benzin | 140.473 | 142.468 | 144.462 | 52.618 | 53.528 | 54.438 | 28.711 | 29.297 | 29.883 |
| LNF mit Benzin | 103.830 | 105.304 | 106.778 | 77.118 | 78.452 | 79.785 | 62.838 | 64.120 | 65.403 |
| LNF Diesel | 2.683.161 | 2.721.259 | 2.759.356 | 2.542.482 | 2.586.451 | 2.630.421 | 2.405.864 | 2.454.964 | 2.504.063 |
| MZR ohne Benzin | 259.089 | 262.768 | 266.447 | 190.485 | 193.779 | 197.073 | 139.822 | 142.675 | 145.529 |
| MZR mit Benzin | 281.674 | 285.673 | 289.672 | 410.226 | 417.320 | 424.415 | 530.263 | 541.085 | 551.907 |
| UEKB Diesel | 308.350 | 312.728 | 317.106 | 337.442 | 343.277 | 349.113 | 366.350 | 373.827 | 381.303 |
| SCHI Braunkohlenbriketts | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SCHI Dieselmotoren | 438.132 | 444.353 | 450.574 | 412.373 | 419.504 | 426.636 | 393.859 | 401.897 | 409.935 |
| | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a | 1000 km/a |
| | | | | | | | 345.453.99 | | |
| PKW ohne Benzin | 4.678.093.303 | 4.744.516.534 | 4.810.939.766 | 2.030.195.026 | 2.065.305.215 | 2.100.415.403 | 338.544.918 | 8 | 352.363.078 |
| PKW mit Benzin | 330.790.608.007 | 335.487.432.056 | 340.184.256.105 | 294.901.764.476 | 300.001.794.990 | 305.101.825.505 | 281.271.367.764 | 287.011.59 | 292.751.831 |
| PKW Diesel | 270.834.530.690 | 274.680.051.410 | 278.525.572.130 | 337.166.935.498 | 342.997.899.795 | 348.828.864.091 | 373.156.507.318 | 380.771.94 | 388.387.385 |
| Busse Diesel | 4.029.387.598 | 4.086.599.998 | 4.143.812.398 | 4.017.127.792 | 4.086.599.992 | 4.156.072.192 | 4.004.867.992 | 4.086.599.9 | 4.168.331.9 |
| SNF Diesel | 60.669.453.240 | 61.530.885.639 | 62.392.318.038 | 62.434.581.865 | 63.514.325.397 | 64.594.068.929 | 64.151.779.335 | 65.460.999. | 66.770.219. |
| LNF ohne Benzin | 1.842.635.486 | 1.868.798.667 | 1.894.961.849 | 787.660.021 | 801.281.812 | 814.903.603 | 476.840.385 | 486.571.82 | 496.303.257 |
| LNF mit Benzin | 1.361.974.508 | 1.381.312.889 | 1.400.651.269 | 1.154.407.953 | 1.174.372.282 | 1.194.336.611 | 1.043.636.075 | 1.064.934.7 | 1.086.233.4 |
| LNF Diesel | 35.195.995.317 | 35.695.735.616 | 36.195.475.914 | 38.059.397.975 | 38.717.597.126 | 39.375.796.277 | 39.957.648.306 | 40.773.110. | 41.588.572. |
| MZR ohne Benzin | 8.966.560.604 | 9.093.874.851 | 9.221.189.099 | 6.701.727.158 | 6.817.626.814 | 6.933.526.470 | 5.009.989.783 | 5.112.234.4 | 5.214.479.1 |

⁴⁰ Keine AR bzw. Prognosen im ZSE. Berichtswerte werden als konstant angenommen, lediglich die Bereiche der Unsicherheiten werden verändert für die Emissionsprognosen

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|--|--------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| | | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max | Min | Berichts- wert | Max |
| MZR mit | Benzin | 9.748.167.554 | 9.886.579.670 | 10.024.991.785 | 14.432.772.922 | 14.682.373.267 | 14.931.973.613 | 19.000.010.231 | 19.387.765.542 | 19.775.520.852 |
| | | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a | kg/a |
| Busse | Bremsabrieb | 86.808 | 100.939 | 115.070 | 83.779 | 100.939 | 118.099 | 80.751 | 100.939 | 121.127 |
| LNF | Bremsabrieb | 308.140 | 358.302 | 408.464 | 310.734 | 374.378 | 438.022 | 311.509 | 389.386 | 467.264 |
| MZR | Bremsabrieb | 47.337 | 55.043 | 62.749 | 51.751 | 62.350 | 72.950 | 56.840 | 71.050 | 85.260 |
| PKWs | Bremsabrieb | 3.120.063 | 3.627.981 | 4.135.898 | 3.158.883 | 3.805.884 | 4.452.884 | 3.153.569 | 3.941.961 | 4.730.353 |
| SNF | Bremsabrieb | 1.365.247 | 1.587.497 | 1.809.746 | 1.360.096 | 1.638.670 | 1.917.243 | 1.351.115 | 1.688.894 | 2.026.673 |
| Busse | Reifenabrieb | 94.891 | 110.338 | 125.786 | 91.581 | 110.338 | 129.096 | 88.271 | 110.338 | 132.406 |
| LNF | Reifenabrieb | 338.284 | 393.353 | 448.422 | 341.132 | 411.002 | 480.872 | 341.983 | 427.479 | 512.974 |
| MZR | Reifenabrieb | 45.705 | 53.145 | 60.586 | 49.966 | 60.200 | 70.434 | 54.880 | 68.600 | 82.320 |
| PKWs | Reifenabrieb | 3.384.476 | 3.935.437 | 4.486.398 | 3.426.585 | 4.128.416 | 4.830.247 | 3.420.820 | 4.276.026 | 5.131.231 |
| SNF | Reifenabrieb | 1.428.747 | 1.661.334 | 1.893.921 | 1.423.356 | 1.714.887 | 2.006.418 | 1.413.958 | 1.767.447 | 2.120.936 |
| Off Road Bauwirtschaft | Diesel | 734.684 | 854.283 | 973.883 | 684.177 | 824.309 | 964.442 | 637.174 | 796.467 | 955.761 |
| Off Road Bauwirtschaft | Benzin | 102.005 | 118.610 | 135.216 | 97.693 | 117.703 | 137.712 | 93.848 | 117.311 | 140.773 |
| Off Road Militär | Diesel | 27.280 | 31.721 | 36.162 | 26.328 | 31.721 | 37.113 | 25.377 | 31.721 | 38.065 |
| Off Road Militär | Benzin | 147.821 | 171.885 | 195.949 | 142.665 | 171.885 | 201.106 | 137.508 | 171.885 | 206.262 |
| Eigenverbrennung⁴¹ | | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| <i>Tierkörper</i> | | 60.707 | 61.569 | 62.431 | 60.522 | 61.569 | 62.616 | 60.338 | 61.569 | 62.800 |
| Koks- u. Anodenprod. | | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| Braunkohlenkoks | | 181.342 | 183.917 | 186.492 | 180.335 | 183.454 | 186.573 | 178.942 | 182.594 | 186.246 |
| Steinkohlenkoks | | 4.401.102 | 4.463.592 | 4.526.082 | 3.301.083 | 3.358.172 | 3.415.261 | 2.649.387 | 2.703.456 | 2.757.525 |
| Anodenproduktion ⁴¹ | | 240.370 | 279.500 | 318.630 | 151.683 | 182.750 | 213.818 | 68.800 | 86.000 | 103.200 |
| Holzschutzmittel | | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a | t/a |
| <i>Creosote Verbrauch⁴¹</i> | | 3.440 | 4.000 | 4.560 | 3.320 | 4.000 | 4.680 | 3.200 | 4.000 | 4.800 |

⁴¹ Keine AR bzw. Prognosen im ZSE. Berichtswerte werden als konstant angenommen, lediglich die Bereiche der Unsicherheiten werden verändert für die Emissionsprognosen

Tabelle 103: Mittels MC-Simulation berechnete PCDD/PCDF-Emissionsprognosen [g I-TE/a] der Quellkategorien

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------|---------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts-wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts-wert | 97,5 % Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 1,6 | 2,3 | 3,0 | 1,6 | 2,3 | 2,9 | 1,5 | 2,2 | 2,9 |
| Zementöfen | 0,4 | 0,9 | 1,3 | 0,4 | 0,9 | 1,3 | 0,4 | 0,9 | 1,3 |
| Zellstoffproduktion | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,5 | 0,6 |
| Thermische Prozesse der metallurgischen Industrie | 36,1 | 49,3 | 63,2 | 34,9 | 47,7 | 61,6 | 33,5 | 46,1 | 60,0 |
| Offene Verbrennung | 15,9 | 32,4 | 54,7 | 15,4 | 32,5 | 55,7 | 15,4 | 32,4 | 54,9 |
| Häusliche Verbrennungsquellen | 10,9 | 13,5 | 16,3 | 10,5 | 13,1 | 15,9 | 9,6 | 12,3 | 15,1 |
| Feuerungsanlagen | 5,5 | 7,5 | 10,1 | 5,7 | 8,0 | 10,8 | 5,9 | 8,4 | 11,5 |
| Chemische Industrie | | NE | | | NE | | | NE | |
| Krematorien | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,10 | 0,14 | 0,17 |
| Transport und Verkehr | 3,4 | 3,9 | 4,3 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 3,5 | 4,1 | 4,6 |
| Tierkörperbeseitigung | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | | | NE | | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 0,5 | 0,9 | 1,4 | 0,4 | 0,7 | 1,0 | 0,3 | 0,6 | 0,8 |
| Holzschutzmittelbehandlung | | NE | | | NE | | | NE | |
| Gesamt | 89 | 112 | 139 | 87 | 110 | 137 | 86 | 108 | 134 |

Tabelle 104: Mittels MC-Simulation berechnete PCDD/PCDF-Emissionsprognosen [g I-TE/a] der einzelnen Untergruppen der Quellkategorien

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | | |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | |
| Therm. Abfallbehandlung | | | | | | | | | | |
| Siedlungsabfälle | | 0,53 | 1,07 | 1,60 | 0,53 | 1,07 | 1,61 | 0,53 | 1,07 | 1,60 |
| Industrieabfälle | | 0,25 | 0,49 | 0,74 | 0,23 | 0,46 | 0,69 | 0,21 | 0,42 | 0,63 |
| Klärschlamm | | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,03 | 0,07 | 0,10 |
| Altholz | | 0,32 | 0,66 | 1,01 | 0,32 | 0,66 | 1,02 | 0,32 | 0,66 | 1,04 |
| Zementherstellung | | | | | | | | | | |
| Zementöfen | | 0,44 | 0,88 | 1,31 | 0,44 | 0,87 | 1,31 | 0,43 | 0,86 | 1,29 |
| Zellstoff- u. Papierind. | | | | | | | | | | |

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | |
| Sulfatzellstoff | 0,20 | 0,39 | 0,59 | 0,20 | 0,39 | 0,59 | 0,20 | 0,39 | 0,59 | |
| Sulfitzellstoff | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | |
| Metallurg. Industrie | | | | | | | | | | |
| Sinter | 23,2 | 35,7 | 49,1 | 21,7 | 33,6 | 46,9 | 20,0 | 31,6 | 44,8 | |
| Oxygenstahl | 1,4 | 2,8 | 4,2 | 1,3 | 2,7 | 4,0 | 1,2 | 2,5 | 3,7 | |
| Elektrostahl | 3,7 | 7,3 | 11,0 | 4,0 | 7,9 | 11,9 | 4,3 | 8,5 | 12,8 | |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | |
| Roheisenproduktion | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | |
| Hüttenaluminium | | | | | | | | | | |
| Sekundäraluminium | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | 0,9 | 1,8 | 2,8 | 0,9 | 1,8 | 2,9 | 0,9 | 1,8 | 2,9 | |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | | | | | | | | | | |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| Zink (primäre Vorstoffe) | | | | | | | | | | |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | | | | | | | | | | |
| Umschmelzzink | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | |
| Wälzrohrzink | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | |
| Offene Verbrennung | | | | | | | | | | |
| Brandunfälle | Gebäude | 2,2 | 3,4 | 4,7 | 2,2 | 3,4 | 4,8 | 2,2 | 3,4 | 4,9 |
| Brandunfälle | Industrieanlagen | 3,9 | 17,0 | 36,8 | 3,9 | 17,0 | 36,8 | 3,9 | 17,0 | 37,1 |
| Brandunfälle | Landwirtschaft | 0,6 | 1,6 | 3,6 | 0,6 | 1,6 | 3,7 | 0,5 | 1,6 | 3,7 |
| Brandunfälle | Fahrzeuge | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| Brandunfälle | Sonstiges/Kleinteile | 0,5 | 2,9 | 6,4 | 0,5 | 2,9 | 6,5 | 0,5 | 2,9 | 6,5 |
| Waldbrände | Brandgutmenge/a Garten- und | 0,01 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 0,03 | 0,07 |
| Offene Verbrennung von Biomasse | Parkabfälle, Schlagabraum | 0,0 | 0,2 | 0,6 | 0,0 | 0,2 | 0,6 | 0,0 | 0,2 | 0,6 |
| Illegale Müllverbrennung | | 1,1 | 7,0 | 19,6 | 1,1 | 7,0 | 19,9 | 1,1 | 7,0 | 20,0 |
| HH und UEKV | | | | | | | | | | |
| UEKV Kessel | Braunkohlenbriketts | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel | Braunkohlenkoks | 0,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| UEKV Kessel | Brennholz (Resthölzer) | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| UEKV Kessel | Erdgas | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| UEKV Kessel | Flüssiggas | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| UEKV Kessel | Heizöl, leicht | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| UEKV Kessel | Klärgas | 0,00026 | 0,00034 | 0,00043 | 0,00027 | 0,00037 | 0,00046 | 0,00029 | 0,00039 | 0,00049 |
| UEKV Kessel | Petroleum | 0,00005 | 0,00007 | 0,00008 | 0,00005 | 0,00006 | 0,00008 | 0,00004 | 0,00006 | 0,00008 |
| UEKV Kessel | Steinkohle | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,007 | 0,013 | 0,021 |
| UEKV Kessel | Steinkohlenkoks | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,005 | 0,010 | 0,016 |
| HH Kessel | Braunkohlenbriketts Brennholz | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,004 | 0,008 | 0,013 |
| HH Kessel | (naturbelassen) | 0,9 | 1,8 | 2,7 | 0,9 | 1,8 | 2,7 | 0,9 | 1,8 | 2,7 |
| HH Kessel | Erdgas | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 1,6 | 2,1 | 2,6 | 1,6 | 2,1 | 2,7 |
| HH Kessel | Flüssiggas | 0,018 | 0,024 | 0,030 | 0,016 | 0,021 | 0,027 | 0,014 | 0,019 | 0,023 |
| HH Kessel | Heizöl, leicht | 1,8 | 2,5 | 3,1 | 1,8 | 2,3 | 2,9 | 1,7 | 2,2 | 2,8 |
| HH Kessel | Petroleum | 0,00010 | 0,00013 | 0,00017 | 0,00009 | 0,00013 | 0,00016 | 0,00009 | 0,00012 | 0,00015 |
| HH Kessel | Steinkohle | 0,00304 | 0,00615 | 0,00946 | 0,00186 | 0,00384 | 0,00596 | 0,00074 | 0,00154 | 0,00241 |
| HH Kessel | Steinkohlenkoks | 0,00111 | 0,00225 | 0,00345 | 0,00069 | 0,00141 | 0,00218 | 0,00027 | 0,00056 | 0,00088 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenbriketts | 0,000001 | 0,000003 | 0,000005 | 0,000001 | 0,000003 | 0,000005 | 0,000001 | 0,000002 | 0,000004 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenkoks Brennholz | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 |
| UEKV Kamine | (naturbelassen) | 0,004026 | 0,008194 | 0,012632 | 0,003342 | 0,006824 | 0,010515 | 0,002659 | 0,005454 | 0,008475 |
| UEKV Kamine | Steinkohle | 0,000713 | 0,001452 | 0,002221 | 0,000446 | 0,000907 | 0,001403 | 0,000176 | 0,000363 | 0,000570 |
| UEKV Kamine | Steinkohlenkoks | 0,001413 | 0,002880 | 0,004405 | 0,000878 | 0,001800 | 0,002784 | 0,000347 | 0,000720 | 0,001128 |
| HH Kamine | Braunkohlenbriketts Brennholz | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,04 | 0,08 | 0,13 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| HH Kamine | (naturbelassen) | 2,2 | 4,5 | 7,0 | 2,2 | 4,5 | 7,0 | 2,2 | 4,5 | 7,1 |
| HH Kamine | Steinkohle | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,004 | 0,008 | 0,012 |
| HH Kamine | Steinkohlenbriketts | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,005 | 0,011 | 0,018 |
| HH Kamine | Steinkohlenkoks | 0,03 | 0,06 | 0,10 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,008 | 0,016 | 0,025 |
| HH mobil | Ottokraftstoff | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,103 | 0,138 | 0,172 |
| KFA Militär | Erdgas | 0,01114 | 0,01487 | 0,01861 | 0,01094 | 0,01464 | 0,01832 | 0,01078 | 0,01441 | 0,01801 |
| KFA Militär | Flüssiggas | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00002 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00002 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| KFA Militär | Heizöl, leicht | 0,00066 | 0,00087 | 0,00109 | 0,00063 | 0,00085 | 0,00106 | 0,00061 | 0,00082 | 0,00102 |
| Feuerungsanlagen | | | | | | | | | | |
| GFA | Andere Mineralölprodukte | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| GFA | Braunkohlenkoks | 0,0002 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0004 |
| GFA | Erdgas | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| GFA | Flüssiggas | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,003 |
| GFA | Gichtgas | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| GFA | Grubengas | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0007 |
| GFA | Hartbraunkohle | 0,005 | 0,010 | 0,016 | 0,0050 | 0,0101 | 0,0169 | 0,0051 | 0,0104 | 0,0174 |
| GFA | Heizöl EL | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,0033 | 0,0040 | 0,0049 | 0,0021 | 0,0025 | 0,0031 |
| GFA | Heizöl schwer | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,23 | 0,25 | 0,28 |
| GFA | Kokerei-/Stadtgas | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| GFA | Petrolkoks | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| GFA | Raffineriegas | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| GFA | Rohbenzin | 0,00097 | 0,00120 | 0,00146 | 0,00097 | 0,00120 | 0,00146 | 0,00093 | 0,00115 | 0,00140 |
| GFA | Rohbraunkohle | 0,18 | 0,37 | 0,62 | 0,19 | 0,39 | 0,64 | 0,19 | 0,40 | 0,66 |
| GFA | Staub-/Trockenkohle | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,05 |
| GFA | Steinkohle | 1,70 | 3,45 | 5,77 | 1,92 | 3,91 | 6,52 | 2,16 | 4,36 | 7,27 |
| TA Luft | Andere Mineralölprodukte | 0,006 | 0,007 | 0,009 | 0,006 | 0,007 | 0,009 | 0,006 | 0,007 | 0,009 |
| TA Luft | Braunkohlenbriketts | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,04 | 0,07 | 0,11 |
| TA Luft | Holz (naturbelassen + Restholz) | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,001 |
| TA Luft | Erdgas | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| TA Luft | Grubengas | 0,0003 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 |
| TA Luft | Hartbraunkohle | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,001 | 0,003 | 0,004 |
| TA Luft | Heizöl EL | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| TA Luft | Heizöl schwer | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| TA Luft | Klär gas | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,003 |
| TA Luft | Kokerei-/Stadtgas | 0,0003 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 |
| TA Luft | Raffineriegas | 0,00037 | 0,00045 | 0,00055 | 0,00027 | 0,00034 | 0,00041 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 |
| TA Luft | Rohbraunkohle | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,04 | 0,06 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------------------------|---|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| TA Luft | Staub-/Trockenkohle | 0,06 | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,10 | 0,16 |
| TA Luft | Steinkohle | 0,35 | 0,64 | 0,99 | 0,35 | 0,65 | 1,00 | 0,35 | 0,65 | 1,01 |
| TA Luft | Steinkohlenkoks | 0,18 | 0,33 | 0,50 | 0,17 | 0,32 | 0,50 | 0,17 | 0,31 | 0,49 |
| TA Luft | Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | 0,88 | 1,65 | 2,60 | 0,88 | 1,65 | 2,63 | 0,86 | 1,65 | 2,67 |
| TA Luft | Pflanzenöl | 0,0003 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0006 |
| TA Luft | Biogas | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 |
| Motor / Turbine | Deponiegas | 0,0004 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0008 |
| Motor / Turbine | Dieselmotortreibstoff | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Motor / Turbine | Erdgas | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 0,12 |
| Motor / Turbine | Heizöl EL | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,002 | 0,002 | 0,003 |
| Motor / Turbine | Klärgas | 0,00008 | 0,00010 | 0,00012 | 0,00009 | 0,00011 | 0,00013 | 0,00009 | 0,00012 | 0,00014 |
| Krematorien | | | | | | | | | | |
| Kremationen | | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,10 | 0,14 | 0,17 |
| Transport u. Verkehr | | | | | | | | | | |
| PKW ohne | Benzin | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| PKW mit | Benzin | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| PKW | Diesel | 0,6 | 0,8 | 1,1 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 0,7 | 1,0 | 1,2 |
| Busse | Diesel | 0,1 | 0,08 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,1 | 0,1 | 0,07 | 0,1 |
| SNF | Diesel | 0,7 | 0,94 | 1,2 | 0,7 | 0,95 | 1,2 | 0,7 | 0,97 | 1,2 |
| LNF ohne | Benzin | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,005 | 0,006 | 0,008 | 0,003 | 0,004 | 0,004 |
| LNF mit | Benzin | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| LNF | Diesel | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| MZR ohne | Benzin | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| MZR mit | Benzin | 0,004 | 0,006 | 0,007 | 0,006 | 0,008 | 0,010 | 0,008 | 0,011 | 0,014 |
| UEKB | Diesel | 0,9 | 1,3 | 1,6 | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 1,5 | 1,9 |
| SCHI | Braunkohlen-briketts | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SCHI | Dieselmotortreibstoff | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Off Road Bauwirtschaft | Diesel | 0,043 | 0,060 | 0,078 | 0,041 | 0,058 | 0,076 | 0,039 | 0,056 | 0,075 |
| Off Road Bauwirtschaft | Benzin | 0,010 | 0,014 | 0,019 | 0,010 | 0,014 | 0,019 | 0,010 | 0,014 | 0,019 |
| Off Road Militär | Diesel | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,003 |
| Off Road Militär | Benzin | 0,015 | 0,021 | 0,027 | 0,015 | 0,021 | 0,027 | 0,014 | 0,021 | 0,028 |

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | |
| Tierkörperbes. | | | | | | | | | | |
| Eigenverbrennung | Tierkörper | 0,15 | 0,31 | 0,46 | 0,15 | 0,31 | 0,46 | 0,15 | 0,31 | 0,46 |
| Koks- u. Anodenprod. | | | | | | | | | | |
| Braunkohlenkoks | | 0,02 | 0,04 | 0,1 | 0,02 | 0,04 | 0,1 | 0,02 | 0,04 | 0,1 |
| Steinkohlenkoks | | 0,4 | 0,9 | 1,3 | 0,3 | 0,7 | 1,0 | 0,3 | 0,5 | 0,8 |
| Anodenproduktion | | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Holzschutzmittel | | | | | | | | | | |
| Creosote Verbrauch | | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |

Tabelle 105: Mittels MC-Simulation berechnete B(a)P-Emissionsprognosen [kg/a] der Quellkategorien

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| Thermische Abfallbehandlung | 36,0 | 56 | 77 | 35,3 | 56 | 77 | 34,6 | 55 | 77 |
| Zementöfen | 14,0 | 28,0 | 42,1 | 14,0 | 27,9 | 41,8 | 13,8 | 27,6 | 41,6 |
| Zellstoffproduktion | | NE | | | NE | | | NE | |
| Thermische Prozesse der metallurgischen Industrie | 193 | 276 | 360 | 194 | 282 | 370 | 195 | 288 | 380 |
| Offene Verbrennung | 205 | 373 | 632 | 204 | 373 | 633 | 204 | 373 | 641 |
| Häusliche Verbrennungsquellen | 14.104 | 22.559 | 31.270 | 13.659 | 22.057 | 31.032 | 12.942 | 21.473 | 30.960 |
| Feuerungsanlagen | 137 | 165 | 195 | 131 | 160 | 192 | 125 | 155 | 188 |
| Chemische Industrie | | NE | | | NE | | | NE | |
| Krematorien | | NE | | | NE | | | NE | |
| Transport und Verkehr | 314 | 363 | 412 | 346 | 408 | 471 | 368 | 435 | 502 |
| Tierkörperbeseitigung | | NE | | | NE | | | NE | |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | | | NE | | | NE | |
| Koks- und Anodenproduktion | 38 | 67 | 96 | 28 | 50 | 73 | 22 | 40 | 57 |
| Holzschutzmittelbehandlung | 1,0 | 2,0 | 3,1 | 1,0 | 2,0 | 3,1 | 1,0 | 2,0 | 3,1 |
| Gesamt | 15.426 | 23.889 | 32.663 | 15.001 | 23.416 | 32.368 | 14.305 | 22.849 | 32.358 |

Tabelle 106: Mittels MC-Simulation berechnete B(a)P-Emissionsprognosen [kg/a] der einzelnen Untergruppen der Quellkategorien

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| Therm. Abfallbehandlung | | | | | | | | | |
| Siedlungsabfälle | 6,2 | 12,5 | 18,7 | 6,2 | 12,5 | 18,7 | 6,2 | 12,5 | 18,7 |
| Industrieabfälle | 2,9 | 5,8 | 8,6 | 2,7 | 5,3 | 8,0 | 2,5 | 4,9 | 7,4 |
| Klärschlamm | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| Altholz | 18,3 | 37,4 | 57,5 | 18,2 | 37 | 58 | 18,0 | 37 | 59 |
| Zementherstellung | | | | | | | | | |
| Zementöfen | 14,0 | 28,0 | 42,1 | 14,0 | 27,9 | 41,8 | 13,8 | 27,6 | 41,6 |
| Zellstoff- u. Papierind. | | | | | | | | | |
| Sulfatzellstoff | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Sulfitzellstoff | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Metallurg. Industrie | | | | | | | | | |
| Sinter | 11,8 | 23,8 | 36,5 | 10,9 | 22,4 | 34,7 | 10,0 | 21,1 | 32,8 |
| Oxygenstahl | | | | | | | | | |
| Elektrostahl | 73,5 | 147 | 220 | 79,1 | 159 | 238 | 85,3 | 170 | 256 |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | 18,7 | 37,4 | 56,2 | 18,7 | 37,4 | 56,1 | 18,8 | 37,4 | 56,0 |
| Roheisenproduktion | 32,9 | 65,6 | 98 | 31,0 | 61,9 | 93 | 29,0 | 58,1 | 87 |
| Hüttenaluminium | 1,3 | 2,6 | 4 | 0,9 | 1,7 | 3 | 0,4 | 0,8 | 1 |
| Sekundäraluminium | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Zink (primäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Umschmelzzink | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Wälzrohrzink | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Offene Verbrennung | | | | | | | | | |
| Brandunfälle Gebäude | 15,3 | 44,3 | 100,9 | 15,5 | 44,3 | 101,5 | 15,2 | 44,3 | 102,5 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|------------------------------------|--|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| Brandunfälle | Industrieanlagen | 30,2 | 86,3 | 196,5 | 30,4 | 86,2 | 196,9 | 29,6 | 86,3 | 197,8 |
| Brandunfälle | Landwirtschaft | 1,4 | 4,0 | 9,1 | 1,4 | 4,0 | 9,1 | 1,4 | 4,0 | 9,2 |
| Brandunfälle | Fahrzeuge | 14,1 | 40,3 | 91,6 | 13,9 | 40,3 | 91,7 | 13,9 | 40,3 | 93,1 |
| Brandunfälle | Sonstiges/Kleinteile | 0,3 | 0,9 | 2,1 | 0,3 | 0,9 | 2,1 | 0,3 | 0,9 | 2,2 |
| Waldbrände | Brandgutmenge/a | 5,1 | 15,8 | 37,4 | 4,8 | 15,8 | 38,2 | 4,5 | 15,8 | 39,1 |
| Offene Verbrennung von Biomasse | Garten- und Parkabfälle, Schlagabraum | 18,4 | 118 | 332 | 18,3 | 118 | 329 | 18,4 | 118 | 339 |
| Illegale Müllverbrennung | | 9,9 | 63,1 | 181,1 | 9,9 | 63,1 | 178,2 | 9,9 | 63,2 | 180,4 |
| HH und UEKV | | | | | | | | | | |
| UEKV Kessel | Braunkohlenbriketts | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| UEKV Kessel | Braunkohlenkoks | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| UEKV Kessel | Brennholz (Resthölzer) | 54 | 111 | 170 | 44 | 92 | 143 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kessel | Erdgas | 12,5 | 16,6 | 20,8 | 12,2 | 16,3 | 20,4 | 12,1 | 16,1 | 20,2 |
| UEKV Kessel | Flüssiggas | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,7 |
| UEKV Kessel | Heizöl, leicht | 101 | 134 | 167 | 97 | 130 | 162 | 94 | 126 | 157 |
| UEKV Kessel | Klärgas | 0,006 | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,01 | 0,01 | 0,007 | 0,01 | 0,01 |
| UEKV Kessel | Petroleum | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| UEKV Kessel | Steinkohle | 17,4 | 35,6 | 54,5 | 10,9 | 22,2 | 34,3 | 4,3 | 8,9 | 14,0 |
| UEKV Kessel | Steinkohlenkoks | 13,5 | 27,3 | 42,2 | 8,4 | 17,1 | 26,5 | 3,3 | 6,8 | 10,7 |
| HH Kessel | Braunkohlenbriketts | 26,9 | 55 | 84 | 16,6 | 34 | 53 | 6,6 | 14 | 21 |
| HH Kessel | Brennholz (naturbelassen) | 2166 | 4392 | 6718 | 2137 | 4397 | 6825 | 2134 | 4395 | 6881 |
| HH Kessel | Erdgas | 36,0 | 47,9 | 59,9 | 36,9 | 49,2 | 61,6 | 38,0 | 50,5 | 63,2 |
| HH Kessel | Flüssiggas | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 0,6 |
| HH Kessel | Heizöl, leicht | 617 | 821 | 1029 | 587 | 783 | 979 | 558 | 745 | 931 |
| HH Kessel | Petroleum | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| HH Kessel | Steinkohle | 1,5 | 3,1 | 4,8 | 0,9 | 1,9 | 3,0 | 0,4 | 0,8 | 1,2 |
| HH Kessel | Steinkohlenkoks | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 0,3 | 0,7 | 1,1 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenbriketts | 0,006 | 0,013 | 0,019 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,005 | 0,010 | 0,016 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenkoks | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| UEKV Kamine | Brennholz (naturbelassen) | 13 | 27 | 41 | 11 | 22 | 35 | 9 | 18 | 28 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kamine | Steinkohle | 2,2 | 4,5 | 7,0 | 1,4 | 2,8 | 4,4 | 0,6 | 1,1 | 1,8 |
| UEKV Kamine | Steinkohlenkoks | 4,4 | 9,0 | 13,8 | 2,7 | 5,6 | 8,7 | 1,1 | 2,3 | 3,5 |
| HH Kamine | Braunkohlenbriketts | 336 | 678 | 1043 | 207 | 424 | 655 | 83 | 170 | 265 |
| HH Kamine | Brennholz (naturbelassen) | 7735 | 15830 | 24195 | 7824 | 15829 | 24556 | 7637 | 15825 | 24991 |
| HH Kamine | Steinkohle | 39 | 80 | 122 | 25 | 50 | 77 | 10 | 20 | 31 |
| HH Kamine | Steinkohlenbriketts | 58 | 116 | 178 | 36 | 73 | 113 | 14 | 29 | 46 |
| HH Kamine | Steinkohlenkoks | 82 | 166 | 256 | 51 | 104 | 160 | 20 | 42 | 65 |
| HH mobil | Ottokraftstoff | 1,7 | 2,2 | 2,8 | 1,7 | 2,2 | 2,8 | 1,7 | 2,2 | 2,7 |
| KFA Militär | Erdgas | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| KFA Militär | Flüssiggas | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 |
| KFA Militär | Heizöl, leicht | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Feuerungsanlagen | | | | | | | | | | |
| GFA | Andere Mineralölprodukte | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,6 |
| GFA | Braunkohlenkoks | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| GFA | Erdgas | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| GFA | Flüssiggas | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| GFA | Gichtgas | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| GFA | Grubengas | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,003 |
| GFA | Hartbraunkohle | 0,3 | 0,7 | 1,1 | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 0,4 | 0,7 | 1,2 |
| GFA | Heizöl EL | 4,2 | 5,2 | 6,4 | 3,1 | 3,8 | 4,6 | 1,9 | 2,4 | 2,9 |
| GFA | Heizöl schwer | 5,8 | 7,2 | 8,8 | 5,3 | 6,5 | 7,9 | 4,7 | 5,8 | 7,0 |
| GFA | Kokerei-/Stadtgas | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| GFA | Petrolkoks | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,5 |
| GFA | Raffineriegas | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| GFA | Rohbenzin | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,10 | 0,13 | 0,16 |
| GFA | Rohbraunkohle | 12,9 | 26,1 | 43,5 | 13,3 | 26,9 | 45,0 | 13,7 | 27,7 | 46,3 |
| GFA | Staub-/Trockenkohle | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| GFA | Steinkohle | 11,9 | 24,2 | 40,4 | 13,5 | 27,3 | 45,6 | 15,0 | 30,5 | 51,0 |
| TA Luft | Andere Mineralölprodukte | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| TA Luft | Braunkohlenbriketts | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,8 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------------------------|---|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| TA Luft | Holz (naturbelassen + Restholz) | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| TA Luft | Erdgas | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| TA Luft | Grubengas | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| TA Luft | Hartbraunkohle | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| TA Luft | Heizöl EL | 40,0 | 49,3 | 60,2 | 36,9 | 45,4 | 55,4 | 33,7 | 41,6 | 50,7 |
| TA Luft | Heizöl schwer | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,8 |
| TA Luft | Klärgas | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| TA Luft | Kokerei-/Stadtgas | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| TA Luft | Raffineriegas | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| TA Luft | Rohbraunkohle | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| TA Luft | Staub-/Trockenkohle | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 0,4 | 0,7 | 1,1 |
| TA Luft | Steinkohle | 2,5 | 4,5 | 7,0 | 2,5 | 4,5 | 7,0 | 2,5 | 4,6 | 7,0 |
| TA Luft | Steinkohlenkoks | 1,2 | 2,3 | 3,5 | 1,2 | 2,2 | 3,5 | 1,2 | 2,2 | 3,4 |
| TA Luft | Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | 16,3 | 30,4 | 48,3 | 16,2 | 30,4 | 48,5 | 15,9 | 30,4 | 49,2 |
| TA Luft | Pflanzenöl | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| TA Luft | Biogas | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Motor / Turbine | Deponiegas | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,004 |
| Motor / Turbine | Dieselmotortreibstoff | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Motor / Turbine | Erdgas | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Motor / Turbine | Heizöl EL | 5,3 | 6,6 | 8,0 | 3,5 | 4,3 | 5,3 | 1,7 | 2,1 | 2,5 |
| Motor / Turbine | Klärgas | 0,0004 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0007 |
| Krematorien | | | | | | | | | | |
| Kremationen | | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Transport u. Verkehr | | | | | | | | | | |
| PKW ohne | Benzin | 1,6 | 2,1 | 2,6 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| PKW mit | Benzin | 27,6 | 36,9 | 46,1 | 24,8 | 33,0 | 41,2 | 23,6 | 31,6 | 39,5 |
| PKW | Diesel | 137,7 | 184,1 | 230 | 172,1 | 229,8 | 288 | 191,5 | 255,1 | 319 |
| Busse | Diesel | 2,8 | 3,7 | 4,6 | 2,8 | 3,7 | 4,6 | 2,8 | 3,7 | 4,6 |
| SNF | Diesel | 41,5 | 55,4 | 69,3 | 42,9 | 57,2 | 71,5 | 44,2 | 58,9 | 73,6 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| LNF ohne | Benzin | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| LNF mit | Benzin | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| LNF | Diesel | 17,9 | 23,9 | 30,0 | 19,5 | 25,9 | 32,5 | 20,5 | 27,3 | 34,2 |
| MZR ohne | Benzin | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 2,2 | 3,0 | 3,8 | 1,7 | 2,2 | 2,8 |
| MZR mit | Benzin | 0,8 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 1,6 | 2,1 | 2,7 |
| UEKB | Diesel | 7,0 | 9,4 | 11,7 | 7,7 | 10,3 | 12,9 | 8,4 | 11,2 | 14,0 |
| SCHI | Braunkohlenbriketts | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| SCHI | Dieselmotoren | 10,0 | 13,3 | 16,7 | 9,4 | 12,6 | 15,7 | 9,1 | 12,1 | 15,1 |
| Busse | Bremsabrieb | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| LNF | Bremsabrieb | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| MZR | Bremsabrieb | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| PKWs | Bremsabrieb | 1,9 | 2,7 | 3,5 | 2,0 | 2,8 | 3,7 | 2,0 | 2,9 | 3,9 |
| SNF | Bremsabrieb | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 0,9 | 1,2 | 1,6 | 0,9 | 1,2 | 1,7 |
| Busse | Reifenabrieb | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 0,6 |
| LNF | Reifenabrieb | 1,1 | 1,5 | 2,0 | 1,1 | 1,6 | 2,1 | 1,2 | 1,7 | 2,2 |
| MZR | Reifenabrieb | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| PKWs | Reifenabrieb | 11,0 | 15,3 | 19,9 | 11,4 | 16,1 | 21,2 | 11,6 | 16,7 | 22,2 |
| SNF | Reifenabrieb | 4,7 | 6,5 | 8,4 | 4,8 | 6,7 | 8,8 | 4,8 | 6,9 | 9,2 |
| Tierkörperbes. | | | | | | | | | | |
| Eigenverbrennung | Tierkörper | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Koks- u. Anodenprod. | | | | | | | | | | |
| | Braunkohlenkoks | 1,2 | 2,4 | 3,6 | 1,2 | 2,4 | 3,6 | 1,2 | 2,4 | 3,6 |
| | Steinkohlenkoks | 28,8 | 58,0 | 86,9 | 21,8 | 43,7 | 65,6 | 17,5 | 35,1 | 52,7 |
| | Anodenproduktion | 3 | 7 | 10 | 2 | 4 | 7 | 1 | 2 | 3 |
| Holzschutzmittel | | | | | | | | | | |
| | Creosote Verbrauch | 1,0 | 2,0 | 3,1 | 1,0 | 2,0 | 3,1 | 1,0 | 2,0 | 3,1 |

Tabelle 107: Mittels MC-Simulation berechnete PAH-Emissionsprognosen [kg/a] der Quellkategorien

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|--|-------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-----------|-------|-------------------|
| | 2,5 % | Berichts- wert | 97,5 % | 2,5 % | Berichts- wert | 97,5 % | Perzentil | 2,5 % | Berichts- wert |

| | Perzentil | wert | Perzentil | Perzentil | wert | Perzentil | wert | Perzentil | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Thermische Abfallbehandlung | | NE | | | NE | | NE | | |
| Zementöfen | 1.754 | 3.507 | 5.259 | 1.734 | 3.479 | 5.226 | 1.730 | 3.454 | 5.181 |
| Zellstoffproduktion | | NE | | | NE | | NE | | |
| Thermische Prozesse der metallurgischen Industrie | 1.336 | 1.894 | 2.469 | 1.311 | 1.878 | 2.452 | 1.295 | 1.864 | 2.445 |
| Offene Verbrennung | 212 | 659 | 1.468 | 218 | 658 | 1.483 | 209 | 660 | 1.473 |
| Häusliche Verbrennungsquellen | 38.003 | 61.283 | 85.587 | 36.600 | 59.862 | 85.217 | 34.282 | 58.259 | 84.294 |
| Feuerungsanlagen | 3.231 | 4.221 | 5.310 | 3.193 | 4.166 | 5.332 | 3.120 | 4.107 | 5.294 |
| Chemische Industrie | | NE | | | NE | | NE | | |
| Krematorien | | NE | | | NE | | NE | | |
| Transport und Verkehr | 1.638 | 1.909 | 2.187 | 1.773 | 2.075 | 2.375 | 1.858 | 2.184 | 2.495 |
| Tierkörperbeseitigung | | NE | | | NE | | NE | | |
| Textil- und Lederbehandlung | | NE | | | NE | | NE | | |
| Koks- und Anodenproduktion | 709 | 1.292 | 1.874 | 540 | 976 | 1.415 | 423 | 776 | 1.128 |
| Holzschutzmittelbehandlung | 2,5 | 5,0 | 7,7 | 2,5 | 5,0 | 7,8 | 2,4 | 5,0 | 7,8 |
| Gesamt | 51.150 | 74.768 | 98.990 | 49.505 | 73.099 | 98.470 | 47.326 | 71.309 | 97.567 |

Tabelle 108: Mittels MC-Simulation berechnete PAH-Emissionsprognosen [kg/a] der einzelnen Untergruppen der Quellkategorien

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| Therm. Abfallbehandlung | | | | | | | | | |
| Siedlungsabfälle | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Industrieabfälle | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Klärschlamm | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Altholz | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Zementherstellung | | | | | | | | | |
| Zementöfen | 1754 | 3507 | 5259 | 1734 | 3479 | 5226 | 1730 | 3454 | 5181 |
| Zellstoff- u. Papierind. | | | | | | | | | |
| Sulfatzellstoff | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Sulfitzellstoff | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Metallurg. Industrie | | | | | | | | | |
| Sinter | 409 | 832 | 1280 | 383 | 785 | 1221 | 356 | 738 | 1155 |
| Oxygenstahl | 1,7 | 3,4 | 5,0 | 1,6 | 3,2 | 4,8 | 1,5 | 3,0 | 4,5 |

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| Elektrostahl | 316 | 632 | 948 | 342 | 682 | 1021 | 365 | 732 | 1098 |
| Eisen-, Stahl- und Temperguß | 188 | 374 | 561 | 188 | 374 | 560 | 187 | 374 | 561 |
| Roheisenproduktion | | | | | | | | | |
| Hüttenaluminium | 26 | 52 | 78 | 17 | 34 | 51 | 8 | 16 | 24 |
| Sekundäraluminium | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Kupfer (primäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Kupfer (sekundäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Blei (primäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Raff. Blei (sekundäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Zink (primäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Zink (sekundäre Vorstoffe) | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Umschmelzzink | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Wälzrohrzink | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Offene Verbrennung | | | | | | | | | |
| Brandunfälle Gebäude | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Brandunfälle Industrieanlagen | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Brandunfälle Landwirtschaft | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Brandunfälle Fahrzeuge | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Brandunfälle Sonstiges/Kleinteile | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Waldbrände | 17 | 53 | 123 | 16 | 53 | 126 | 14 | 53 | 129 |
| Offene Verbrennung von Biomasse | 61 | 396 | 1130 | 63 | 395 | 1130 | 62 | 395 | 1108 |
| Illegale Müllverbrennung | 33 | 210 | 601 | 32 | 211 | 603 | 33 | 212 | 615 |
| HH und UEKV | | | | | | | | | |
| UEKV Kessel Braunkohlenbriketts | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kessel Braunkohlenkoks | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kessel Brennholz (Resthölzer) | 137 | 276 | 424 | 112 | 230 | 355 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kessel Erdgas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| UEKV Kessel Flüssiggas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel | Heizöl, leicht | 670 | 894 | 1117 | 650 | 866 | 1083 | 626 | 837 | 1047 |
| UEKV Kessel | Klär gas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| UEKV Kessel | Petroleum | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| UEKV Kessel | Steinkohle | 113 | 231 | 352 | 71 | 144 | 225 | 28 | 58 | 91 |
| UEKV Kessel | Steinkohlenkoks | 88 | 178 | 271 | 55 | 111 | 172 | 21 | 44 | 70 |
| HH Kessel | Braunkohlenbriketts Brennholz | 146 | 295 | 452 | 91 | 185 | 287 | 36 | 74 | 116 |
| HH Kessel | (naturbelassen) | 4126 | 8349 | 12841 | 4096 | 8351 | 12871 | 4055 | 8355 | 13133 |
| HH Kessel | Erdgas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| HH Kessel | Flüssiggas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| HH Kessel | Heizöl, leicht | 2466 | 3284 | 4113 | 2346 | 3132 | 3914 | 2235 | 2979 | 3725 |
| HH Kessel | Petroleum | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| HH Kessel | Steinkohle | 12,0 | 24,6 | 38 | 7,5 | 15,4 | 24 | 3,0 | 6,1 | 10 |
| HH Kessel | Steinkohlenkoks | 4,5 | 9,0 | 13,8 | 2,8 | 5,6 | 8,7 | 1,1 | 2,3 | 3,5 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenbriketts | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| UEKV Kamine | Braunkohlenkoks Brennholz | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| UEKV Kamine | (naturbelassen) | 30 | 61 | 94 | 25 | 51 | 80 | 20 | 41 | 64 |
| UEKV Kamine | Steinkohle | 4,6 | 9,4 | 14,5 | 2,9 | 5,9 | 9,2 | 1,1 | 2,4 | 3,7 |
| UEKV Kamine | Steinkohlenkoks | 9,3 | 18,7 | 28,7 | 5,8 | 11,7 | 18,0 | 2,2 | 4,7 | 7,3 |
| HH Kamine | Braunkohlenbriketts Brennholz | 859 | 1749 | 2687 | 528 | 1095 | 1698 | 212 | 440 | 688 |
| HH Kamine | (naturbelassen) | 22250 | 45199 | 69154 | 21994 | 45217 | 69872 | 21700 | 45238 | 70755 |
| HH Kamine | Steinkohle | 76 | 155 | 236 | 46 | 97 | 150 | 18 | 39 | 60 |
| HH Kamine | Steinkohlenbriketts | 111 | 225 | 347 | 69 | 141 | 217 | 27 | 56 | 89 |
| HH Kamine | Steinkohlenkoks | 159 | 321 | 493 | 98 | 201 | 310 | 39 | 80 | 125 |
| HH mobil | Ottokraftstoff | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| KFA Militär | Erdgas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| KFA Militär | Flüssiggas | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| KFA Militär | Heizöl, leicht | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 0,8 | 1,1 | 1,4 | 0,8 | 1,1 | 1,4 |
| Feuerungsanlagen | | | | | | | | | | |
| | Andere | | | | | | | | | |
| GFA | Mineralölprodukte | 6,0 | 7,4 | 9,0 | 5,7 | 7,0 | 8,6 | 5,4 | 6,7 | 8,1 |
| GFA | Braunkohlenkoks | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|---------|--|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| GFA | Erdgas | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 0,6 | 0,8 | 0,9 |
| GFA | Flüssiggas | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| GFA | Gichtgas | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| GFA | Grubengas | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| GFA | Hartbraunkohle | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 3,1 | 3,5 | 3,9 | 3,2 | 3,6 | 4,0 |
| GFA | Heizöl EL | 25,2 | 31,1 | 37,9 | 18,3 | 22,6 | 27,5 | 11,6 | 14,3 | 17,4 |
| GFA | Heizöl schwer | 29,1 | 35,9 | 43,7 | 26,2 | 32,3 | 39,4 | 23,3 | 28,8 | 35,1 |
| GFA | Kokerei-/Stadtgas | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| GFA | Petrolkoks | 5,8 | 7,2 | 8,7 | 5,7 | 7,0 | 8,6 | 5,6 | 6,9 | 8,4 |
| GFA | Raffineriegas | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| GFA | Rohbenzin | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| GFA | Rohbraunkohle | 82,7 | 167,9 | 280,4 | 85,7 | 173,3 | 288,5 | 87,7 | 178,1 | 297,6 |
| GFA | Staub-/Trockenkohle | 0,6 | 1,2 | 2,0 | 0,6 | 1,2 | 2,0 | 0,6 | 1,3 | 2,1 |
| GFA | Steinkohle | 34,0 | 69,1 | 115,3 | 38,5 | 78,1 | 130,8 | 43,0 | 87,2 | 145,5 |
| TA Luft | Andere Mineralölprodukte | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,3 |
| TA Luft | Braunkohlenbriketts Holz (naturbelassen + Restholz) | 58,6 | 107,5 | 166,3 | 59,1 | 108,4 | 168,1 | 59,5 | 109,0 | 168,6 |
| TA Luft | Erdgas | 0,7 | 1,3 | 2,1 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 0,5 | 0,9 | 1,4 |
| TA Luft | Erdgas | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,8 |
| TA Luft | Grubengas | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,004 |
| TA Luft | Hartbraunkohle | 2,6 | 4,7 | 7,3 | 2,5 | 4,5 | 7,0 | 2,1 | 3,8 | 5,9 |
| TA Luft | Heizöl EL | 323,4 | 399,0 | 486,6 | 298,2 | 367,3 | 448,1 | 272,7 | 335,9 | 409,4 |
| TA Luft | Heizöl schwer | 5,4 | 6,6 | 8,1 | 4,5 | 5,6 | 6,8 | 3,7 | 4,6 | 5,6 |
| TA Luft | Klär gas | 0,028 | 0,034 | 0,042 | 0,027 | 0,033 | 0,040 | 0,025 | 0,031 | 0,038 |
| TA Luft | Kokerei-/Stadtgas | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,003 | 0,004 | 0,005 |
| TA Luft | Raffineriegas | 0,005 | 0,006 | 0,008 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,002 | 0,003 | 0,004 |
| TA Luft | Rohbraunkohle | 42,0 | 76,9 | 119,0 | 37,0 | 67,8 | 105,0 | 32,9 | 60,3 | 93,3 |
| TA Luft | Staub-/Trockenkohle | 85,0 | 155,9 | 241,0 | 84,4 | 154,3 | 239,0 | 82,4 | 150,9 | 233,7 |
| TA Luft | Steinkohle | 526,6 | 961,9 | 1490,5 | 529,1 | 970,3 | 1502,1 | 533,8 | 975,6 | 1513,6 |
| TA Luft | Steinkohlenkoks Weiteres Brennholz (naturbelassen + Restholz) | 266,8 | 488,4 | 756,0 | 261,4 | 480,3 | 744,9 | 257,4 | 472,5 | 730,5 |
| TA Luft | | 880,5 | 1645,8 | 2600,0 | 871,7 | 1645,0 | 2622,3 | 869,8 | 1645,4 | 2668,3 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| TA Luft | Pflanzenöl | 2,6 | 3,4 | 4,3 | 2,5 | 3,4 | 4,3 | 2,5 | 3,4 | 4,4 |
| TA Luft | Biogas | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Motor / Turbine | Deponiegas | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Motor / Turbine | Dieselmotoren | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| Motor / Turbine | Erdgas | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 1,2 | 1,4 | 1,7 |
| Motor / Turbine | Heizöl EL | 31,7 | 39,1 | 47,7 | 20,8 | 25,7 | 31,4 | 10,0 | 12,4 | 15,1 |
| Motor / Turbine | Klärgas | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| Krematorien | | | | | | | | | | |
| Kremationen | | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Transport u. Verkehr | | | | | | | | | | |
| PKW ohne | Benzin | 8,2 | 10,9 | 13,6 | 3,6 | 4,8 | 5,9 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| PKW mit | Benzin | 151 | 201 | 251 | 135 | 180 | 225 | 129 | 172 | 215 |
| PKW | Diesel | 494 | 659 | 824 | 616 | 823 | 1031 | 685 | 914 | 1144 |
| Busse | Diesel | 41,0 | 54,8 | 68,5 | 41,1 | 54,8 | 68,5 | 41,0 | 54,8 | 68,4 |
| SNF | Diesel | 618 | 825 | 1031 | 639 | 851 | 1065 | 657 | 877 | 1098 |
| LNF ohne | Benzin | 3,2 | 4,3 | 5,4 | 1,4 | 1,8 | 2,3 | 0,8 | 1,1 | 1,4 |
| LNF mit | Benzin | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| LNF | Diesel | 64,1 | 85,7 | 107,0 | 69,7 | 92,9 | 116,1 | 73,4 | 97,9 | 122,4 |
| MZR ohne | Benzin | 15,7 | 20,9 | 26,2 | 11,8 | 15,7 | 19,6 | 8,8 | 11,8 | 14,7 |
| MZR mit | Benzin | 4,4 | 5,9 | 7,4 | 6,6 | 8,8 | 11,0 | 8,7 | 11,6 | 14,6 |
| UEKB | Diesel | 9,4 | 12,5 | 15,6 | 10,3 | 13,7 | 17,2 | 11,2 | 15,0 | 18,7 |
| SCHI | Braunkohlen-briketts | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| SCHI | Dieselmotoren | 13,3 | 17,8 | 22,2 | 12,6 | 16,8 | 21,0 | 12,0 | 16,1 | 20,1 |
| Busse | Bremsabrieb | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| LNF | Bremsabrieb | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| MZR | Bremsabrieb | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| PKWs | Bremsabrieb | 4,7 | 6,5 | 8,4 | 4,8 | 6,8 | 8,9 | 4,9 | 7,0 | 9,4 |
| SNF | Bremsabrieb | 2,0 | 2,8 | 3,7 | 2,1 | 2,9 | 3,9 | 2,1 | 3,0 | 4,0 |
| Busse | Reifenabrieb | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| LNF | Reifenabrieb | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| MZR | Reifenabrieb | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| PKWs | Reifenabrieb | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| SNF Reifenabrieb | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Tierkörperbes. | | | | | | | | | |
| Eigenverbrennung Tierkörper | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF | k. EF |
| Koks- u. Anodenprod. | | | | | | | | | |
| Braunkohlenkoks | 24,0 | 47,8 | 71,7 | 23,8 | 47,7 | 71,7 | 23,7 | 47,5 | 71,2 |
| Steinkohlenkoks | 579,8 | 1160,2 | 1738,2 | 435,9 | 873,2 | 1310,2 | 350,8 | 702,8 | 1055,5 |
| Anodenproduktion | 41 | 84 | 129 | 27 | 55 | 85 | 13 | 26 | 40 |
| Holzschutzmittel | | | | | | | | | |
| Creosote Verbrauch | 2,5 | 5,0 | 7,7 | 2,5 | 5,0 | 7,8 | 2,4 | 5,0 | 7,8 |

A 5 Emissionsszenarien Holzfeuerung

Tabelle 109: Entwicklung der AR [TJ] der Brennstoffe bei HH und UEKV unter den Bedingungen des Szenario 1 (Wachstums-Szenario)

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel Braunkohle | 2.697 | 3.136 | 3.575 | 2.513 | 3.028 | 3.542 | 2.338 | 2.923 | 3.508 |
| UEKV Kessel Gase | 413.120 | 418.985 | 424.851 | 397.648 | 404.525 | 411.402 | 382.752 | 390.563 | 398.375 |
| UEKV Kessel Steinkohle | 5.836 | 6.786 | 7.736 | 5.438 | 6.552 | 7.666 | 5.061 | 6.326 | 7.591 |
| UEKV Kessel Holz | 20.860 | 24.256 | 27.652 | 24.850 | 29.939 | 35.029 | 29.563 | 36.954 | 44.345 |
| UEKV Kessel Heizöl, leicht | 217.257 | 220.342 | 223.427 | 202.996 | 206.507 | 210.017 | 187.855 | 191.689 | 195.523 |
| HH Kessel Braunkohle | 2.658 | 3.091 | 3.524 | 2.630 | 3.169 | 3.708 | 2.599 | 3.249 | 3.899 |
| HH Kessel Gase | 1.119.870 | 1.135.771 | 1.151.671 | 1.144.655 | 1.164.450 | 1.184.246 | 1.169.977 | 1.193.854 | 1.217.731 |
| HH Kessel Steinkohle | 512 | 595 | 678 | 506 | 610 | 714 | 500 | 626 | 751 |
| HH Kessel Holz | 64.605 | 75.122 | 85.639 | 81.491 | 98.182 | 114.873 | 102.656 | 128.320 | 153.984 |
| HH Kessel Heizöl, leicht | 630.552 | 639.505 | 648.458 | 562.782 | 572.515 | 582.248 | 468.746 | 478.312 | 487.879 |
| UEKV Kamine Braunkohle | 97 | 113 | 129 | 91 | 109 | 128 | 84 | 106 | 127 |
| UEKV Kamine Gase | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kamine Steinkohle | 201 | 234 | 266 | 187 | 226 | 264 | 174 | 218 | 261 |
| UEKV Kamine Holz | 2.318 | 2.695 | 3.072 | 2.761 | 3.327 | 3.892 | 3.285 | 4.106 | 4.927 |
| UEKV Kamine Heizöl, leicht | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-----------|----------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| HH Kamine | Braunkohle | 10.633 | 12.365 | 14.096 | 10.522 | 12.677 | 14.832 | 10.397 | 12.997 | 15.596 |
| HH Kamine | Gase | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HH Kamine | Steinkohle | 5.691 | 6.618 | 7.544 | 5.631 | 6.785 | 7.938 | 5.565 | 6.956 | 8.347 |
| HH Kamine | Holz | 166.128 | 193.172 | 220.216 | 209.548 | 252.468 | 295.387 | 263.972 | 329.965 | 395.958 |
| HH Kamine | Heizöl, leicht | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 2.663.036 | 2.742.786 | 2.822.536 | 2.654.249 | 2.765.067 | 2.875.885 | 2.635.526 | 2.787.164 | 2.938.801 |

Tabelle 110: Entwicklung der AR [TJ] der Brennstoffe bei HH und UEKV unter den Bedingungen des Szenario 2 (Maßnahmen-Szenario)

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------|----------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel | Braunkohle | 2.916 | 3.390 | 3.865 | 2.899 | 3.493 | 4.087 | 2.879 | 3.599 | 4.319 |
| UEKV Kessel | Gase | 446.651 | 452.993 | 459.335 | 429.923 | 437.359 | 444.794 | 413.819 | 422.264 | 430.709 |
| UEKV Kessel | Steinkohle | 6.310 | 7.337 | 8.364 | 6.275 | 7.560 | 8.845 | 6.231 | 7.789 | 9.347 |
| UEKV Kessel | Holz | 22.470 | 26.128 | 29.785 | 26.767 | 32.249 | 37.732 | 31.844 | 39.805 | 47.766 |
| UEKV Kessel | Heizöl, leicht | 233.104 | 236.413 | 239.723 | 217.776 | 221.543 | 225.309 | 201.500 | 205.613 | 209.725 |
| HH Kessel | Braunkohle | 2.674 | 3.110 | 3.545 | 2.659 | 3.204 | 3.749 | 2.641 | 3.301 | 3.962 |
| HH Kessel | Gase | 1.126.572 | 1.142.568 | 1.158.564 | 1.084.381 | 1.103.134 | 1.121.888 | 1.043.760 | 1.065.061 | 1.086.363 |
| HH Kessel | Steinkohle | 515 | 599 | 683 | 512 | 617 | 722 | 508 | 636 | 763 |
| HH Kessel | Holz | 64.973 | 75.551 | 86.128 | 77.399 | 93.252 | 109.105 | 92.081 | 115.101 | 138.122 |
| HH Kessel | Heizöl, leicht | 633.065 | 642.054 | 651.043 | 548.039 | 557.516 | 566.994 | 452.055 | 461.281 | 470.507 |
| UEKV Kamine | Braunkohle | 105 | 122 | 140 | 105 | 126 | 148 | 104 | 130 | 156 |
| UEKV Kamine | Gase | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| UEKV Kamine | Steinkohle | 217 | 253 | 288 | 216 | 260 | 304 | 214 | 268 | 322 |
| UEKV Kamine | Holz | 2.497 | 2.903 | 3.309 | 2.974 | 3.583 | 4.192 | 3.538 | 4.423 | 5.307 |
| UEKV Kamine | Heizöl, leicht | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HH Kamine | Braunkohle | 10.697 | 12.439 | 14.180 | 10.637 | 12.816 | 14.995 | 10.564 | 13.205 | 15.846 |
| HH Kamine | Gase | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HH Kamine | Steinkohle | 5.725 | 6.657 | 7.589 | 5.693 | 6.859 | 8.025 | 5.654 | 7.067 | 8.481 |
| HH Kamine | Holz | 167.075 | 194.273 | 221.471 | 199.027 | 239.791 | 280.556 | 236.780 | 295.975 | 355.170 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| HH Kamine | Heizöl, leicht | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Summe | | 2.725.566 | 2.806.789 | 2.888.012 | 2.615.284 | 2.723.364 | 2.831.444 | 2.504.176 | 2.645.520 | 2.786.865 |

Tabelle 111: Prognose der brennstoffspezifischen PCDD/PCDF-EF [$\mu\text{g I-TE/TJ}$] der HH und UEKV (Szenario 2)

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel Braunkohle | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 |
| UEKV Kessel Gase | 0,8 | 1,1 | 1,3 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,0 | 0,03 | 0,0 |
| UEKV Kessel Steinkohle | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 |
| UEKV Kessel Holz | 138,1 | 276,3 | 414,4 | 86,6 | 173,1 | 259,7 | 35,0 | 70,0 | 105,0 |
| UEKV Kessel Heizöl, leicht | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| HH Kessel Braunkohle | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 |
| HH Kessel Gase | 0,8 | 1,1 | 1,3 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,0 | 0,03 | 0,0 |
| HH Kessel Steinkohle | 20 | 40,0 | 60 | 20 | 40,0 | 60 | 20 | 40,0 | 60 |
| HH Kessel Holz | 13,9 | 27,9 | 41,8 | 8,9 | 17,7 | 26,6 | 3,8 | 7,6 | 11,4 |
| HH Kessel Heizöl, leicht | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| UEKV Kamine Braunkohle | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 |
| UEKV Kamine Gase | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| UEKV Kamine Steinkohle | 20 | 40,0 | 60 | 20 | 40,0 | 60 | 20 | 40,0 | 60 |
| UEKV Kamine Holz | 14,3 | 28,5 | 42,8 | 9,5 | 19,0 | 28,4 | 4,7 | 9,4 | 14,1 |
| UEKV Kamine Heizöl, leicht | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| HH Kamine Braunkohle | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 | 15 | 30,0 | 45 |
| HH Kamine Gase | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| HH Kamine Steinkohle | 30 | 60,0 | 90 | 30 | 60,0 | 90 | 30 | 60,0 | 90 |
| HH Kamine Holz | 14,3 | 28,5 | 42,8 | 9,5 | 19,0 | 28,4 | 4,7 | 9,4 | 14,1 |
| HH Kamine Heizöl, leicht | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |

Tabelle 112: Prognose der brennstoffspezifischen B(a)P-EF [mg/TJ] der HH und UEKV (Szenario 2)

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel Braunkohle | 20.000 | 40.000 | 60.000 | 20.000 | 40.000 | 60.000 | 20.000 | 40.000 | 60.000 |

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel Gase | 27 | 36 | 46 | 25 | 33 | 41 | 23 | 30 | 38 |
| UEKV Kessel Steinkohle | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 10.000 | 20.000 | 30.000 |
| UEKV Kessel Holz | 21.000 | 42.000 | 63.000 | 13.500 | 27.000 | 40.500 | 6.000 | 12.000 | 18.000 |
| UEKV Kessel Heizöl, leicht | 309 | 413 | 516 | 192 | 256 | 320 | 75 | 100 | 125 |
| HH Kessel Braunkohle | 25.000 | 50.000 | 75.000 | 25.000 | 50.000 | 75.000 | 25.000 | 50.000 | 75.000 |
| HH Kessel Gase | 27 | 36 | 46 | 25 | 33 | 41 | 23 | 30 | 38 |
| HH Kessel Steinkohle | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 10.000 | 20.000 | 30.000 |
| HH Kessel Holz | 33.500 | 67.000 | 100.500 | 19.750 | 39.500 | 59.250 | 6.000 | 12.000 | 18.000 |
| HH Kessel Heizöl, leicht | 623 | 831 | 1.039 | 518 | 690 | 863 | 412 | 549 | 687 |
| UEKV Kamine Braunkohle | 62.500 | 125.000 | 187.500 | 62.500 | 125.000 | 187.500 | 62.500 | 125.000 | 187.500 |
| UEKV Kamine Gase | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| UEKV Kamine Steinkohle | 62.500 | 125.000 | 187.500 | 62.500 | 125.000 | 187.500 | 62.500 | 125.000 | 187.500 |
| UEKV Kamine Holz | 43.438 | 86.875 | 130.313 | 25.469 | 50.938 | 76.406 | 7.500 | 15.000 | 22.500 |
| UEKV Kamine Heizöl, leicht | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| HH Kamine Braunkohle | 77.500 | 155.000 | 232.500 | 77.500 | 155.000 | 232.500 | 77.500 | 155.000 | 232.500 |
| HH Kamine Gase | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| HH Kamine Steinkohle | 77.500 | 155.000 | 232.500 | 77.500 | 155.000 | 232.500 | 77.500 | 155.000 | 232.500 |
| HH Kamine Holz | 46.563 | 93.125 | 139.688 | 27.031 | 54.063 | 81.094 | 7.500 | 15.000 | 22.500 |
| HH Kamine Heizöl, leicht | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |

Tabelle 113: Prognose der brennstoffspezifischen PAH-EF [mg/TJ] der HH und UEKV (Szenario 2)

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| UEKV Kessel Braunkohle | 100.000 | 200.000 | 300.000 | 100.000 | 200.000 | 300.000 | 100.000 | 200.000 | 300.000 |
| UEKV Kessel Gase | 27 | 36 | 46 | 25 | 33 | 41 | 23 | 30 | 38 |
| UEKV Kessel Steinkohle | 65.000 | 130.000 | 195.000 | 65.000 | 130.000 | 195.000 | 65.000 | 130.000 | 195.000 |
| UEKV Kessel Holz | 52.500 | 105.000 | 157.500 | 33.750 | 67.500 | 101.250 | 15.000 | 30.000 | 45.000 |
| UEKV Kessel Heizöl, leicht | 2.381 | 3.175 | 3.969 | 1.866 | 2.488 | 3.109 | 1.350 | 1.800 | 2.250 |
| HH Kessel Braunkohle | 135.000 | 270.000 | 405.000 | 135.000 | 270.000 | 405.000 | 135.000 | 270.000 | 405.000 |
| HH Kessel Gase | 27 | 36 | 46 | 25 | 33 | 41 | 23 | 30 | 38 |

| | | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|-------------|----------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| HH Kessel | Steinkohle | 80.000 | 160.000 | 240.000 | 80.000 | 160.000 | 240.000 | 80.000 | 160.000 | 240.000 |
| HH Kessel | Holz | 66.875 | 133.750 | 200.625 | 43.438 | 86.875 | 130.313 | 20.000 | 40.000 | 60.000 |
| HH Kessel | Heizöl, leicht | 2.381 | 3.175 | 3.969 | 1.866 | 2.488 | 3.109 | 1.350 | 1.800 | 2.250 |
| UEKV Kamine | Braunkohle | 150.000 | 300.000 | 450.000 | 150.000 | 300.000 | 450.000 | 150.000 | 300.000 | 450.000 |
| UEKV Kamine | Gase | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| UEKV Kamine | Steinkohle | 130.000 | 260.000 | 390.000 | 130.000 | 260.000 | 390.000 | 130.000 | 260.000 | 390.000 |
| UEKV Kamine | Holz | 103.125 | 206.250 | 309.375 | 64.063 | 128.125 | 192.188 | 25.000 | 50.000 | 75.000 |
| UEKV Kamine | Heizöl, leicht | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| HH Kamine | Braunkohle | 200.000 | 400.000 | 600.000 | 200.000 | 400.000 | 600.000 | 200.000 | 400.000 | 600.000 |
| HH Kamine | Gase | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |
| HH Kamine | Steinkohle | 150.000 | 300.000 | 450.000 | 150.000 | 300.000 | 450.000 | 150.000 | 300.000 | 450.000 |
| HH Kamine | Holz | 134.375 | 268.750 | 403.125 | 79.688 | 159.375 | 239.063 | 25.000 | 50.000 | 75.000 |
| HH Kamine | Heizöl, leicht | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF | k.EF |

A 6 Maßnahmen-Szenario Sinter (Szenario 3)

Tabelle 114: PCDD/PCDF-EF [$\mu\text{g I-TE/t}$] der Sinterproduktion für Szenario 3

| Jahr | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|------|-----|--------------|-----|------------|
| 2004 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | normal |
| 2010 | 0,6 | 1,13 | 1,7 | normal |
| 2015 | 0,4 | 0,81 | 1,2 | normal |
| 2020 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | normal |

Tabelle 115: Prognose der PCDD/PCDF-Emissionen [g I-TE/a] aus Sinteranlagen mit und ohne Minderung der Konzentrationen im Abgasvolumenstrom bis 2020

| | 2010 | | | 2015 | | | 2020 | | |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil | 2,5 % Perzentil | Berichts- wert | 97,5 % Perzentil |
| Prognose Sinter Maßnahmen-Szenario | 13,2 | 26,9 | 41,1 | 8,9 | 18,2 | 28,2 | 5,2 | 10,5 | 16,6 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Prognose Sinter ohne Maßnahmen | 23,2 | 35,7 | 49,1 | 21,7 | 33,6 | 46,9 | 20,0 | 31,6 | 44,8 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Literaturverzeichnis

- [1] BIPRO (Beratungsstelle für integrierte Problemlösungen): Identification, assessment and prioritisation of EU measures to reduce releases of unintentionally produced/released Persistent Organic Pollutants. European Commission, Brussels, 2006.
- [2] Blank, P.; Wickert, B.; Obermeier, A.; Friedrich, R.: Erstellung eines Emissionskatasters für Feuerungsanlagen in Haushalt und Kleinverbrauch. Umweltbundesamt, Berlin, 1999.
- [3] Bockey, D.: Biodiesel und pflanzliche Öle als Kraftstoffe - aus der Nische in den Kraftstoffmarkt. Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 1 (15). Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), 2006.
- [4] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: Emissionsfaktoren ausgewählter nichtlimitierter Schadstoffe im Straßenverkehr. Bern, 1999.
- [5] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Daten und Tabellen im statistischen Monatsbericht, Tabelle 9120.1 Walbrände und ihre Ursachen. <http://www.bmelv-statistik.de>, 2006.
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen erneuerbarer Energien vom 12. Juni 2006 (BAnz. S. 4566).
- [7] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. 2004.
- [8] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft BMVEL: Holzmarktbericht 2/2004. Bonn, 2005.
- [9] Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit: Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung, Bericht der Enquete Kommission. 2002.
- [10] Europäische Kommission Generaldirektion Umwelt: Leitfaden für die Umsetzung des EPER. Amt für amtliche Veröffentlichung der Europäischen Gemeinschaften, 2000.
- [11] European Environment Agency: Emission Inventory Guidebook. An Approach to Estimation of PAH Emissions. 1999.
- [12] European Environment Agency: EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2004. Kopenhagen, 2004.
- [13] EWI/Prognos: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Berlin, 2005.
- [14] Expert Group on Best Available Techniques (BAT) and Best Environmental Practices (BEP): Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, Advance Draft. UNEP, 2004.

- [15] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Basisdaten Biogas Deutschland, Stand März 2005. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft,
- [16] Federal Office for the Environment (FOEN): Swiss National Implementation Plan, to be submitted to the Conference of the Parties to the Stockholm Convention, First Edition. Bern (CH), 2006.
- [17] Fraunhofer-Institut für Systemforschung und Innovationsforschung, ISI: Werkstoffeffizienz - Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Fraunhofer IRB Verlag, 2004.
- [18] Heldstab, J.; Müller, M.: Handbuch Emissionsfaktoren für stationäre Quellen, Ausgabe 2000. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (BUWAL), Bern, 2000.
- [19] Hermann, T.; Goldau, K.: Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlammbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau, 2004.
- [20] Hillman, C.: Primäre Maßnahmen zur Minderung der Emission polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane an einer Sinteranlage für eisenhaltige Reststoffe. Technische Universität Clausthal, 2003.
- [21] Hillmann, C.: Primäre Maßnahmen zur Minderung der Emission polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane an einer Sinteranlage für eisenhaltige Rohstoffe. Technische Universität Clausthal, 2006.
- [22] Hobson, M.; Thistlethwaite, G.; Stewart, R.; Woodfield, M.: Emission factors programme Task 7 - Review of Residential Small-Scale Commercial Combustion Sources. Netcen, Oxon (UK), 2003.
- [23] Holoubek, I.: The National Implementation Plan for Implementation of the Stockholm Convention in the Czech Republic. 2006.
- [24] Hübner, C.; Boos, R.; Bohlmann, J.; Burtscher, K.; Wiesenberger, H.: In Österreich eingesetzte Verfahren zur Dioxinminderung. Umweltbundesamt, Federal Environment Agency - Austria, Wien, 2000.
- [25] Institut für angewandte Ökologie e.V.: Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS): Mittelwert Müllverbrennungsanlage Hausmüll. 2006.
- [26] Institut für angewandte Ökologie e.V.: Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS): Zementproduktion in Deutschland Anfang der 90er Jahre. 2006.
- [27] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu): Investigation of emissions and abatement measures for persistent organic pollutants in the Federal Republic of Germany, UBA-Texte 75-98. Umweltbundesamt, Berlin, 1998.
- [28] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu): Teilbericht Prioritäre Quellen: Schwermetalle und POP. Umweltbundesamt, Dessau, 2005.

- [29] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu): Teilbericht
Prioritäre Quellen: Schwermetalle und POP. Umweltbundesamt, Dessau,
2005.
- [30] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu): Teilbericht
Prioritäre Quellen: Schwermetalle und POP. Umweltbundesamt, Dessau,
2005.
- [31] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu): Teilbericht
Prioritäre Quellen: Schwermetalle und POP. Umweltbundesamt, Dessau,
2005.
- [32] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Anleitung zur Erstellung von
Emissionserklärungen und Emissionsberichten gemäß 11. BImSchV. Essen,
2005.
- [33] Mager, K.; Meurer, U.; Wirling, J.: Minimizing Dioxin and Furan Emissions during Zinc
Dust Recycle by the Waelz Process. Journal of the Minerals, Metals and
Materials Society, August 2003.
- [34] Mantau, U.; Bilitewski, B.: Stoffstrommodell-Holz, Bestimmung des Aufkommens, der
Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten, Forschungsbericht für
den Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP). Celle, 2005.
- [35] Merten, D.; Nill, M.; Kaltschmitt, M.; Falkenberg, D.: Wärmegewinnung aus
Biomasse, Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Institut für Energetik und Umwelt
gmbH, Leipzig, 2004.
- [36] N.N.: Protokoll zu dem Übereinkommen von 1979 über weiträumige
grenzüberschreitende Luftverunreinigung betreffend persistente organische
Schadstoffe (POPs-Protokoll). 2002.
- [37] N.N.: 1. BImSchV - Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen, Fassung
vom März 1997.
- [38] N.N.: AbfKlärV - Klärschlammverordnung vom 15. April 1992.
- [39] N.N.: Entscheidung der Kommission vom 7. Juli 2000 über den Aufbau eines
Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) gemäß Artikel 15 der
Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und
Verminderung der Umweltverschmutzung (IPPC) (2000/479/EG).
- [40] N.N.: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien. EEG - Erneuerbare-Energien-
Gesetz vom 21. Juli 2004.
- [41] N.N.: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch
Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.
BImSchG - Bundes-Immissionsschutzgesetz, Fassung vom 26. September
2002.
- [42] N.N.: TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24 Juli 2002.
- [43] N.N.: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von
Altholz, AltholzV - Altholzverordnung vom 15. August 2002.

- [44] N.N.: Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse. BiomasseV - Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001.
- [45] Nussbaumer, T.: Dioxin- und PAK- Emissionen der privaten Abfallverbrennung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 2004.
- [46] Passant, N.; Stewart, R.; Woodfield, M.: Emission factors programme Task 1 - Summary of simple desk studies (2003/4). Netcen, Oxon, UK, 2004.
- [47] Pfeiffer, F.; Struschka, M.; Baumbach, G.: Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher. Umweltbundesamt, Berlin, 2000.
- [48] Quass, U.; Fermann, M.; Bröker, G.: Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 1997.
- [49] Quass, U.; Fermann, M.; Bröker, G.: The European Dioxin Emission Inventory Stage III, Assessment of dioxin emissions until 2005. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 2000.
- [50] RAL, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung E. V.: Vergabegrundlage für Umweltzeichen, Holzpellettheizkessel, RAL-UZ 112. 2006.
- [51] RAL, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung E. V.: Vergabegrundlage für Umweltzeichen, Holzpelletöfen, RAL-UZ 111. 2006.
- [52] Rentz, O.; Karl, U.; Peter, H.; Wolff, F.: Konzeption zur Verbesserung der Emissionsdatenerfassung für krebserzeugende Spurenstoffe in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2000.
- [53] Ruh, A. BUS Steel Services: Persönliche Mitteilung. 2007.
- [54] Scheuermann, A.; Thrän, D.; Wilfert, R.: Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse. Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH, 2004.
- [55] Schweizer Bundesamt für Statistik: Holzproduktion 2004 - 2005. 2006.
- [56] Struschka, M.; Zuberbühler, U.; Dreiseidler, A.; Dreizler, D.; Baumbach, G.: Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung. Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampkesselwesen (IVD) im Auftrag des Umweltbundesamt, 2003.
- [57] Thanner, G.; Moche, W.: Emission von Dioxinen, PCBs und PAHs aus Kleinf Feuerungen. Umweltbundesamt Federal Environment Agency - Austria, Wien, 2002.
- [58] Theloke, J.; Obermeier, A.; Friedrich, R.: Ermittlung der Lösemittlemissionen 1994 in Deutschland und Methoden zur Fortschreibung. Umweltbundesamt, Berlin, 2000.

- [59] UMEG, Zentrum für Umweltmessungen Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg: Handbuch Emissionsfaktoren Emissionserklärung 2004. Karlsruhe, 2005.
- [60] Umweltbundesamt: Die Nebenwirkungen der Behaglichkeit: Feinstaub aus Kamin und Holzofen, Hintergrundpapier. Dessau, 2006.
- [61] Umweltbundesamt: Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel. Berlin, 2001.
- [62] Umweltbundesamt: Zentrales System Emissionen (ZSE) - Zentrale Datenbank des Umweltbundesamtes zur Erfassung atmosphärischer Emissionen in Deutschland (Version MESAP 4.5.3, ZSE-Abzug Stand 14.06.2006).
- [63] Umweltbundesamt: Verkehr im Umweltmanagement - Anleitung zur betrieblichen Erfassung verkehrsbedingter Umwelteinwirkungen. Berlin, 1999.
- [64] UNEP Chemicals: Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. Geneva (CH), 2005.
- [65] Verein deutscher Zementwerke e.V.: Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2004. Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, 2005.
- [66] VIK, Verband der Industriellen Energie und Kraftwirtschaft e. V.: Statistik der Energiewirtschaft. Verlag Energieberatung GmbH, Essen, 2006.
- [67] Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM): NE-Metalle. www.wvmetalle.de, 2007.
- [68] Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM): Metallstatistik 2005. Düsseldorf, 2006.
- [69] Wirtschaftsvereinigung Stahl, Stahlinstitut VDEh: Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2005/2006. Düsseldorf, 2005.