Texte

Texte
38
07

ISSN
1862-4804

Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000 - 2020

Umwelt
Bundes
Amt
Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 204 42 202/2
UBA-FB 000965

Texte
38/07
ISSN
1862-4804

Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000 – 2020

von

Wolfram Jörß, Volker Handke
Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

mit Beiträgen von
Udo Lambrecht, Frank Dünnebeil
Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (ifeu)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist auch als Download unter
http://www.umweltbundesamt.de
verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung Rechte Dritter.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 1406
06844 Dessau-Roßlau
Tel.: +49-340-2103-0
Telefax: +49-340-2103 2285
Internet: http://www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Fachgebiet II 4.1
Bernd Schärer

Dessau-Roßlau, August 2007

Vorbemerkung

Bei der vorliegenden Publikation handelt es sich um eine im November 2007 leicht überarbeitete Neuauflage der gleichnamigen UBA-Veröffentlichung vom August 2007.

In die August-Veröffentlichung hatten sich einige kleine Flüchtigkeitsfehler eingeschlichen, die zu fehlerhaften Zahlenwerten bei einigen Emissionsfrachten und daraus berechneten prozentualen Verhältnissen geführt hatten. Dies wurde mit der Neuauflage behoben. Qualitative Aussagen des Berichtes waren in keiner Weise betroffen.

Zusätzlich wurde die Zuordnung von Abriebemissionen des Straßenverkehrs innerhalb des Berichtformates „New Format for Reporting“ von NFR 1A3 nach NFR 7 korrigiert.

Berlin, November 2007

Die Autoren

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000-2020		

5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Jörß, Wolfram Handke, Volker	8. Abschlussdatum 15.01.2007
	9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Schopenhauerstr. 26 14129 Berlin	10. UFOPLAN-Nr. 204 42 202/2
	11. Seitenzahl 65 + 170 (Anhang)
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 1406, 06813 Dessau	12. Literaturangaben 31
	13. Tabellen und Diagramme 17 + 119 (Anhang)
	14. Abbildungen 1

15. Zusätzliche Angaben

Endbericht zum UFOPLAN-Vorhaben „Analysen zur Weiterentwicklung der Luftreinhaltepolitik in Europa - Nationaler Beitrag zur Gestaltung des CAFE-Programms unter besonderer Berücksichtigung von Feinstaub und Erfüllung von Pflichten aus der NEC-Richtlinie und der Luftreinhaltekonvention“

16. Zusammenfassung

In dieser Studie wurde das Emissionsinventar des Umweltbundesamtes (UBA) für Gesamtstaub und die Feinfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ für die Jahre 2000 - 2005 aktualisiert. Auf dieser Basis wurde ein Referenzszenario für die anthropogenen Staub- und Feinstaubemissionen bis zu den Jahren 2010, 2015 und 2020 entwickelt. Ferner wurden potenzielle über das Referenzszenario hinausgehende Maßnahmen zur Emissionsminderung erfasst und quantifiziert.

17. Schlagwörter

Staub, Feinstaub, TSP, PM_{10}, $PM_{2,5}$, Emissionen, Emissionsszenarien, Luftreinhaltung, ZSE, Zentrales System Emissionen, Emissionsminderungsmaßnahmen, Emissionsfaktoren

18. Preis	19.	20.

Berichts-Kennblatt 06/2000

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Emissions and Assessment of Abatement Measures for Fine Particles 2000 – 2020		

5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Jörß, Wolfram Handke, Volker	8. Report Date 15. January 2007
	9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Address) IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (Institute for Futures Studies and Technology Assessment)	10. UFOPLAN-Ref. No. 204 42 202/2
	11. No. of Pages 65 + 170 (Annex)
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 1406, 06813 Dessau	12. No. of Reference 31
	13. No. of Tables, Diagrams 17 + 119 (Annex)
	14. No. of Figures 1

15. Supplementary Notes
Final report of the UFOPLAN research project "Analyses for the Development of European Clean Air Policies - National Contribution to the Design of the CAFÉ-Programme under special Consideration of Fine Particles and the Compliance with the NEC Directive and the Convention on Transboundary Air Pollution"

16. Abstract
With this study, the Federal Environmental Agency's emission inventory on total suspended particles (TSP) and the fine fractions PM_{10} and $PM_{2.5}$ was updated. On that basis, a reference scenario was developed for anthropogenic emissions of particulate matter up to the years 2010, 2015 and 2020. In addition, potential additional emission reduction measures were systematically collected and quantified.

17. Keywords
TSP, dust, fine particles, PM_{10}, $PM_{2,5}$, emissions, emission scenarios,
reference energy scenario, clean air policy, Central System Emissions, ZSE,
Emission Factors, additional measures,

18. Price	19.	20.

Report Cover Sheet 06/2000

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde das Emissionsinventar des Umweltbundesamtes (UBA) für Gesamtstaub und die Feinfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ für die Jahre 2000 – 2005 aktualisiert. Auf dieser Basis wurde ein Referenzszenario für die Entwicklung der anthropogenen Staub- und Feinstaubemissionen für die Jahre 2010, 2015 und 2020 entwickelt. Ferner wurden potenzielle über das Referenzszenario hinausgehende Emissionsminderungsmaßnahmen erfasst und quantifiziert.

Methode der Emissionsberechnung

Emissionen werden durch Verknüpfung von Aktivitätsraten mit Emissionsfaktoren berechnet. Als Aktivitätsrate werden Bezugsgrößen gewählt, die repräsentativ für die die Emissionen verursachenden Vorgänge und Prozesse sind. Als Emissionsfaktor wird ein für die Emissionsursache repräsentativer Schadstoffausstoß pro Mengeneinheit durch Messung, Bilanzierung oder Expertenschätzung ermittelt. Alle Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren sowie deren Prognosen basieren auf dem wissenschaftlichen Kenntnisstand des Jahres 2005.

Zur Fortschreibung der Aktivitätsraten in die Zukunft wurden für das Referenzszenario mehrere sektorale Aktivitätsprognosen für Energie (stationäre Quellen und Verkehr), Industrieprozesse, Landwirtschaft und sonstige für Staub emissionsrelevanten Quellgruppen erstellt, deren Grundannahmen so weit wie möglich in Konsistenz gebracht wurden. Für die Fortschreibung der Emissionsfaktoren in die Zukunft wurden für das Referenzszenario alle bis zum 31.12.2005 beschlossenen umweltpolitischen Maßnahmen berücksichtigt.

Bei der Verwendung der Daten sollte beachtet werden, dass die Emissionsdaten sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft das Ergebnis von Modellberechnungen sind, die nicht unbeträchtlichen Unsicherheiten unterliegen. Diese Unsicherheiten konnten in diesem Forschungsvorhaben nur ansatzweise adressiert werden (Kapitel 8). Eine systematische Quantifizierung wäre aber sehr sinnvoll insbesondere im Hinblick auf die Überlegungen, EU-weit nationale Emissionsobergrenzen für $PM_{2,5}$-Emissionen einzuführen.

Ergebnisse

Bezüglich der am stärksten zu den Emissionen beitragenden Quellgruppen gibt es deutliche Unterschiede einerseits zwischen den Staubfraktionen und andererseits im Zeitverlauf. Insbesondere bei Gesamtstaub ist die Emissionsfracht sehr breit über viele Quellgruppen gestreut, während bei $PM_{2,5}$ die Quellgruppen mit geringen Feinstaubanteilen an der Gesamtemission herausfallen und somit die Emissionen stärker auf eine beschränkte Anzahl von Quellgruppen konzentriert sind. Dies sind für das Jahr 2000 bei $PM_{2,5}$ Straßenverkehr, Holzfeuerungen, mobile Maschinen, Großfeuerungsanlagen und die Eisen- und Stahl-Industrie.

Der Rückgang der Emissionen zwischen 2000 und 2020 im Referenzszenario findet vor allem in Quellgruppen mit hohen $PM_{2,5}$-Anteilen an den Gesamtstaubemissionen statt. Deshalb variiert der Rückgang stark zwischen den Staubfraktionen und beträgt bei $PM_{2,5}$ 40 %, bei PM_{10} 31 %, bei Gesamtstaub 27 %. Angesichts dessen ändert sich auch das Profil der emissionsverursachenden Quellgruppen im Zeitverlauf bei $PM_{2,5}$ stärker als bei Gesamtstaub. Einen nicht zu vernachlässigenden Anteil insbesondere bei den Feinfraktionen haben dann auch Quellgruppen wie Zigarettenrauch, Feuerwerk und Grillen (2020 insgesamt 13 % bei $PM_{2,5}$).

Bedeutende Beiträge zu den Emissionsreduktionen im Referenzszenario liefern bei allen Staubfraktionen, insbesondere aber bei $PM_{2,5}$, der Straßenverkehr[1], mobile Maschinen und Holzfeuerungen[2]. Für PM_{10} und Gesamtstaub kommen – mit unterschiedlichen Gewichtungen – die Eisen- und Stahl-Industrie und der Schüttgutumschlag mit relevanten Emissionsreduktionen hinzu. Beim Straßenverkehr ist auffällig, dass die modellierten $PM_{2,5}$-Emissionen des Abriebs (Straße, Bremse und Reifen) die Auspuffemissionen nach 2010 übersteigen. Für PM_{10} geschieht bereits vor 2010 und bei Gesamtstaub seit 2000.

Vergleich mit der Thematischen Strategie Luftreinhaltung (2005)

Die hier vorgelegten Ergebnisse liegen deutlich unterhalb der Emissionsprognosen im Referenzszenario der Thematischen Strategie Luftreinhaltung[3] der Europäischen Kommission von 2005: Für das Jahr 2000 kommt diese Studie bei $PM_{2,5}$ auf 79 % der in RAINS[3] bilanzierten Emissionen, bei PM_{10} auf 87 % und bei Gesamtstaub sogar nur auf 68 %. Die Differenzen werden im Zeitverlauf bis 2020 noch größer. Hervorzuheben ist, dass der für $PM_{2,5}$ in der Thematischen Strategie enthaltene Zielwert für 2020 in Höhe von 90 kt im hier vorgelegten Referenzszenario um 9 % unterschritten wird – ein Ergebnis, dass durch noch laufende Aktualisierungen der RAINS-Datenbasen und Szenarioergebnisse relativiert wird.

Weitere Emissionsminderungspotenziale

In enger Zusammenarbeit mit den Fachverantwortlichen des Umweltbundesamtes wurde untersucht, welche über das Referenzszenario hinausgehenden zusätzlichen Maßnahmen zur Emissionsminderung zur Verfügung stehen. Als Ergebnis wurden Minderungsmaßnahmen für Großfeuerungsanlagen (Kohlefeuerungen), für Kleinfeuerungsanlagen (insb. Holzfeuerungen), für den Straßenverkehr und für den sonstigen Verkehr sowie mobile Maschinen identifiziert. Für alle anderen Quellgruppen sahen die UBA-Fachverantwortlichen keine weiteren realistischen technischen Minderungsmaßnahmen im Zeitrahmen bis 2020.

Mit der Kombination aller analysierten Maßnahmen können die Emissionen des Referenzszenarios im Bezugsjahr 2020 bei $PM_{2,5}$ um 3,3 %, bei PM_{10} um 2,0 % und bei Gesamtstaub um 1,6 % gesenkt werden[4].

Auf der Ebene der Einzelmaßnahmen liegen die größten Minderungspotenziale im Zeitrahmen 2020 bei Maßnahmen zur Senkung der spezifischen Emissionen bei Holzfeuerungen in Haushalten sowie bei Kohlefeuerungen der Großfeuerungsanlagen. Geringere Potenziale haben die für schwere Nutzfahrzeuge einerseits und Pkw und leichte Nutzfahrzeuge andererseits untersuchten Maßnahmen. In beiden Fahrzeugklassen liegen die bei weitem höchsten Minde-

[1] Beim Straßenverkehr werden nur die Auspuffemissionen reduziert, die modellierten Abriebemissionen steigen im Zeitverlauf leicht parallel zur steigenden Fahrleistung.

[2] Falls man allerdings die im Maßnahmenszenario verbuchte Korrektur der prognostizierten Holzeinsätze (vgl. Fußnote 4 und Kapitel 6.2.1) mit in das Referenzszenario einrechnet, würden Holzfeuerungen trotz sich verbessernder Verbrennungstechnik im Zeitverlauf des Referenzszenarios leicht steigende Emissionen aufweisen.

[3] Datenbasis des Referenzszenarios (CLE) der Thematischen Strategie ist das RAINS-Szenario CP_CLE_Aug04(Nov04).

[4] Um die Konsistenz zum Energiereferenzszenario des Umweltbundesamtes (UBA TEXTE 30/2005) zu halten wurde eine Erhöhung der Aktivitätsprognose für Holzfeuerungen in diesem Bericht in das Maßnahmenszenario integriert. Die damit verbundenen höheren Emissionen werden im Maßnahmenszenario mit der Emissionsminderungswirkung der „echten“ (technischen) Minderungsmaßnahmen verrechnet. Bei einer Zuordnung der erhöhten Holzverbrennung zum Referenzszenario betrüge dagegen das Minderungspotenzial im Maßnahmenszenario 2020 16 % ($PM_{2,5}$), 10 % (PM_{10}) bzw. 7 % (Gesamtstaub).

rungspotenziale bei der Einführung neuer EURO-Stufen, während Lkw-Maut und die Förderung der Nachrüstung mit Rußfiltern (Lkw und Pkw) 2020 kaum ins Gewicht fallen. Eine Förderung der Rußfilternachrüstung bei Lkw und Pkw hat ihre stärkste Wirkung im Zeitrahmen 2010, mit jedoch nur begrenztem Potenzial[5]. Die übrigen untersuchten Maßnahmen bei anderen Quellgruppen fallen auf der gesamten Zeitschiene 2010 – 2020 quantitativ kaum ins Gewicht.

[5] In der Summe über Pkw und Lkw ergibt sich für 2010 ein Minderungspotenzial von 2,3 % der Referenz-Auspuffemissionen des Straßenverkehrs, 1,2 % der Referenz-Gesamtemissionen des Straßenverkehrs, bzw. 0,2 % der gesamtem Referenzemissionen an $PM_{2,5}$. Maßnahmen bei Holzfeuerungen haben z.B. auch 2010 schon ein mehr als fünfmal höheres $PM_{2,5}$-Minderungspotenzial.

Summary

With this study, the German Federal Environmental Agency's (UBA) emission inventory on dust (Total Suspended Particles / TSP) and the fine fractions PM_{10} and $PM_{2.5}$ was updated. On that basis, a reference scenario was developed for anthropogenic emissions of particulate matter up to the years 2010, 2015 and 2020. In addition, potential additional emission reduction measures were systematically collected and quantified.

Method of Emission Calculation

Emissions are calculated by combining activity rates with emission factors. The activity rates are reference quantities chosen to represent the processes which cause the emissions. The emission factor is defined as a emission discharge representative to the emission cause. It is determined by measurement, balance or expert judgement. All activity rates and emission factors as well as their forecasts are based on the scientific state of knowledge of the year 2005.

For the purpose of the reference scenario, the activity rates were extrapolated within several sectoral activity forecasts for energy (stationary sources and traffic), industrial processes, agriculture and other source categories which are relevant for particulate matter emissions. In this process, the base assumptions were made as congruent as possible. For the emission factors' extrapolation all environmental legislation passed until 31st December 2005 was considered.

When using the data, note should be taken that the emission data both for the past and the future are model results, whose uncertainties are not to be neglected. The uncertainties could only slightly be touched within this research project. However, a systematic quantification would be highly sensible e.g. in regard to the considerations to introduce EU wide National Emission Ceilings for $PM_{2.5}$ emissions.

Results

The key source categories in the reference emission scenario vary on one hand between the PM size fractions and on the other hand on the time scale 2000 – 2020. While the emission load for TSP is widely distributed among many source categories, the $PM_{2.5}$ emissions are more concentrated on a limited number of source categories (2000: road traffic, wood combustion, mobile machinery, large combustion plants, iron and steel industry). However, the reference scenario's emission reduction 2000 – 2020 take place mostly in source categories with a high share of $PM_{2.5}$ in TSP emissions and add up to 40 % ($PM_{2.5}$), 31 % (PM_{10}) and 27 % (TSP) respectively. Thus, the profile of the source categories changes along time more significantly for $PM_{2.5}$ than for TSP. A considerable share in particular of the fine fractions is allocated to source categories as cigarette smoking, fireworks and barbeques (together 13 % of $PM_{2.5}$ in 2020).

Important contributions to the emission reductions for all size fractions of the reference scenario, however in particular for $PM_{2.5}$, are delivered by the source categories road traffic[6], mobile machinery and wood combustion[7]. For PM_{10} and TSP the iron and steel industry and the handling of dusting materials join the sectors with relevant emission reductions, however

[6] Within road traffic, only the exhaust emission are reduced, the modelled abrasion emissions rise from 2000 to 2020 in parallel to the growing mileage.

[7] However, if the "With Additional Measures" scenario's correction of wood combustion activity forecast (cf. footnote 10) would be allocated to the reference scenario, wood combustion would show a slight rise over the course of time of the reference scenario despite the improving combustion techniques.

in a varying weighting. Within road traffic though, the modelled non-exhaust $PM_{2.5}$ emission (road abrasion, break wear and tyre wear) outsize the exhaust emissions after 2010. For PM_{10} this happens already before 2010, and for TSP since 2000.

Comparison with the Thematic Strategy on Air Pollution (2005)

The reference scenario presented in this study shows significantly lower emission results than the reference scenario (CLE[8]) of the European Commission's 2005 Thematic Strategy on Air Pollution[9]: For the year 2000, this study calculates only 79 % of the $PM_{2.5}$ emissions modelled in RAINS[9], for PM_{10} 87 % and for TSP even 68 %. Over time until 2020 these shares further decline. It is worthwhile noting that this study's reference scenario even falls below the Thematic Strategy's 2020 target value of 90 kt by 9 %. However, this result is to be understood with the reservation of the on-going updates of RAINS data bases and scenario results.

Additional Abatement Potentials

In close co-operation with the UBA staff in charge of the relevant source categories, additional measures exceeding the reference scenario were collected and analysed. As a result, measures for large combustion plants (coal combustion), small combustion plants (in particular wood combustion), for road traffic and for other traffic as well as mobile machinery were identified. For all other source categories the UBA staff in charge did not expect realistic additional technical reduction measures in the 2020 time frame.

With the combination of all analysed measures, the reference scenario's 2020 emissions can be reduced by 3.3 % $PM_{2.5}$, 2.0 % PM_{10} and 1.6 % TSP respectively[10].

On the level of single measures, the highest reduction potentials in the 2020 time frame are allocated to technical measures for wood combustion in households and for coal combustion in large combustion plants. Smaller potential are identified for measures for heavy duty vehicles on one hand and for passenger cars and light duty vehicles on the other hand. In both categories, the introduction of new EURO emission standards have the highest potential, while a financial support of retrofitting with particulate filters does not have a considerable impact in 2020. The impact of a support for retrofitting with particulate filters would peak around 2010, however still with a very limited reduction potential[11]. The remaining analysed measures for other source categories are relatively of no great importance in the total time period 2010 – 2020.

---

[8] CLE: Current Legislation

[9] The data base of the Thematic Strategy's CLE scenario consists of the RAINS scenario CP_CLE_Aug04(Nov04).

[10] In order to remain consistent with the Federal Environmental Agency's energy reference scenario (UBA TEXTE 30/2005), in a correction of, i.e. a rise in, that scenario's wood combustion activity forecast was integrated in the present study as a part of the "With Additional Measures" scenario. Thus, in the "With Additional Measures" scenario the effects of technical reduction measures were set off against the rise of emissions due to the correction of the activity rates. However, with an allocation of the rise in wood combustion to the reference scenario, the "With Additional Measures" scenario's reduction potential 2020 would be 16 % ($PM_{2.5}$), 10 % (PM_{10}) and 7 % (TSP) respectively.

[11] The 2010 reduction potential for passenger cars and heavy duty vehicles adds up to 2.3 % of the reference exhaust emissions of road traffic, 1.2 % of the total road traffic reference $PM_{2.5}$ emissions and 0.2 % of total reference $PM_{2.5}$ emissions. Measures for wood combustion e.g. also in 2010 show a $PM_{2.5}$ reduction potential more than five times higher.

Die vorliegende Studie basiert wesentlich auf Arbeiten und der aktiven Unterstützung von folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Umweltbundesamtes. Bei diesen möchten sich die Autoren herzlich für die gute Zusammenarbeit bedanken:

UBA Abteilung II 5:
Bernd Schärer

UBA Abteilung I 1:
Zueleyha Iyimen-Schwarz

UBA Abteilung I 3:
Gunnar Gohlisch
Falk Heinen
Marion Malow
Lars Moench

UBA Abteilung I 4:
Ulrike Döring
Michael Hüllenkrämer
Robert Kludt
Claudia Schmitt
Michael Strogies

UBA Abteilung III 1:
Folke Dettling

UBA Abteilung III 2:
Rolf Beckers
Anja Behnke
Klaus Bosse
Martina Held
Silke Karcher
Karsten Karschunke
Gerhard Kotschik
Sandra Leuthold
Sebastian Plickert
Almut Reichart
Rainer Remus
Jacqueline Thomas

UBA Abteilung III 3:
Tim Hermann
Volker Weiss

Ebenfalls danken die Autoren Ulrich Dämmgen und Bernhard Osterburg von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) für die kooperative Unterstützung.

Die Beiträge von Udo Lambrecht und Frank Dünnebeil vom Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) bildeten die Basis für die Kapitel 6.3 und 6.4 (zusätzliche Minderungsmaßnahmen bei mobilen Quellen).

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 5
Summary 9
Inhaltsverzeichnis 13
Abbildungsverzeichnis 15
Tabellenverzeichnis 15
1 Einleitung 17
2 Grundlagen der Emissionsberechnung 18
3 Referenzszenario der Aktivitätsraten 19
3.1 Energiereferenzszenario 19
3.2 Aktivitätsszenario für Industrieprozesse 23
3.3 Aktivitätsszenario für die Landwirtschaft 23
3.4 Aktivitätsszenario für sonstige Quellgruppen 24
4 Referenzszenario der Emissionsfaktoren – Berücksichtigte Maßnahmen 25
5 Emissionsberechnungen 27
5.1 Referenzemissionsszenario für $PM_{2,5}$ 27
5.2 Referenzemissionsszenario für PM_{10} 32
5.3 Referenzemissionsszenario für Gesamtstaub 37
5.4 Unterschiede in der Entwicklung der Staubfraktionen 42
5.5 Änderungen und Ergänzungen im Staub-Emissionsinventar des Umweltbundesamtes 43
6 Zusätzliche Maßnahmen 44
6.1 Großfeuerungsanlagen 44
6.2 Kleinfeuerungsanlagen 44
6.2.1 Holzfeuerungen in Haushalten 44
6.2.2 Kleinfeuerungsanlagen - Förderung schwefelarmen Heizöls 45
6.3 Straßenverkehr 45
6.3.1 Einführung einer Grenzwertstufe EURO VI für schwere Nutzfahrzeuge 45
6.3.2 Förderprogramm zur Nachrüstung von Lkw mit Partikelfiltern 46
6.3.3 Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen 46
6.3.4 Einführung von Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge 47
6.3.5 Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff 47
6.3.6 Nachrüstung Diesel-Pkw von Pkw mit Partikelfiltern 48
6.3.7 Addierbarkeit der Maßnahmenpotenziale im Straßenverkehr 48
6.4 Sonstiger Verkehr und mobile Maschinen 48
6.4.1 Fortschreibung der Abgasgesetzgebung für Dieselmotoren >18 kW in Mobilen Maschinen 49
6.4.2 Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung in der Binnenschifffahrt 49
6.4.3 Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven 49

6.4.4 Differenzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr nach Emissionsstandard 50
6.4.5 Addierbarkeit der Maßnahmenpotenziale beim sonstigen Verkehr und mobilen Maschinen 50
7 Emissionsszenarien mit zusätzlichen Maßnahmen 52
7.1 Maßnahmenszenario für $PM_{2,5}$ 52
7.2 Maßnahmenszenario für PM_{10} 55
7.3 Maßnahmenszenario für Gesamtstaub 58
8 Unsicherheiten im Staubinventar 61
9 Quellen 63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Genese des Energiereferenzszenarios des Umweltbundesamtes 19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Primärenergieverbrauch im Energiereferenzszenario 20

Tabelle 2: Sozioökonomische Rahmendaten für das Energiereferenzszenario 21

Tabelle 3: Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Energiereferenzszenario . 22

Tabelle 4: Aktivitätsraten energieintensiver Industrieprozesse im Referenzszenario 23

Tabelle 5: Referenzszenario für $PM_{2,5}$-Emissionen (NFR) 28

Tabelle 6: Referenzszenario für $PM_{2,5}$-Emissionen (technologisch) 30

Tabelle 7: Referenzszenario für PM_{10}-Emissionen (NFR) 32

Tabelle 8: Referenzszenario für PM_{10}-Emissionen (technologisch) 34

Tabelle 9: Referenzszenario für Gesamtstaubemissionen (NFR) 38

Tabelle 10: Referenzszenario für Gesamtstaubemissionen (technologisch) 40

Tabelle 11: Änderungen und Ergänzungen im Staub-Emissionsinventar 43

Tabelle 12: Zusammenfassung der zusätzlichen Emissionsminderungspotenziale für $PM_{2,5}$. 53

Tabelle 13: $PM_{2,5}$-Emissionen im Maßnahmenszenario 54

Tabelle 14: Zusammenfassung der zusätzlichen Emissionsminderungspotenziale für PM_{10} .. 56

Tabelle 15: PM_{10}-Emissionen im Maßnahmenszenario 57

Tabelle 16: Zusammenfassung der zusätzlichen Emissionsminderungspotenziale für Gesamtstaub 59

Tabelle 17: Gesamtstaub-Emissionen im Maßnahmenszenario 60

1 Einleitung

Wesentlicher Gegenstand des diesem Bericht zugrundeliegenden Forschungsvorhabens war es, das Emissionsinventar des Umweltbundesamtes (UBA) für Gesamtstaub (STB) und die Feinfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ für die Jahre 2000-2004 zu aktualisieren und auf dieser Basis Referenzprognosen für die anthropogenen Staubemissionen in den Jahren 2010, 2015 und 2020 zu entwickeln. Da die Ergebnisse diese Vorhabens unmittelbar in das Emissionsinventar und die Emissionsprognosen des Umweltbundesamtes eingehen sollen, wurde ständig in engster Abstimmung mit den Fachverantwortlichen des Umweltbundesamtes für die jeweiligen Quellgruppen gearbeitet. Ferner galt es, potenzielle über das Referenzszenario hinausgehende Minderungsmaßnahmen systematisch zu erfassen und zu quantifizieren, soweit sie im Umweltbundesamt bereits diskutiert werden.

Mit diesem Bericht erhält das Umweltbundesamt eine fundierte und transparente Datenbasis zur Standortbestimmung in der Europäischen Politikentwicklung zur Luftreinhaltung und zur Planung von weiteren staubmindernden Maßnahmen.

Ein weiterer Bestandteil des Forschungsvorhabens war es, ein Energiereferenzszenario des Umweltbundesamtes für die Emissionsberechnung zu entwickeln. Die diesbezüglichen Arbeiten des Forschungsnehmers IZT sind bereits in früheren Zwischenberichten umfassend dargestellt worden und inzwischen bereits in einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes gemündet[12]. Auf die Genese und Ergebnisse des Energiereferenzszenarios wird deshalb in diesem Bericht nur zusammenfassend in Kapitel 3.1 eingegangen.

Nach einem einführenden Abschnitt über die methodischen Grundlagen der Emissionsberechnung (Kapitel 2) werden im Folgenden also die Referenzszenarien für die Aktivitätsraten (Kapitel 3), Emissionsfaktoren (d.h. die im Referenzszenario berücksichtigten Maßnahmen – Kapitel 4) und die Emissionen der verschiedenen Staubfraktionen (Kapitel 5) dargestellt. Anschließend werden mögliche zusätzliche, über das Referenzszenario hinausgehende Maßnahmen beschrieben, quantifiziert und im Maßnahmenszenario zusammengefasst werden (Kapitel 6 und 7). Schließlich werden die nicht zu vernachlässigenden Unsicherheiten in den Emissionsinventaren und -prognosen qualitativ beleuchtet (Kapitel 8).

In einem getrennten Materialienband zum F&E-Vorhaben 204 42 202/2 des Umweltbundesamtes sind sämtliche benutzten Daten des Referenzszenarios zu Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und Emissionen auf dem Disaggregationsniveau der UBA-Emissionsdatenbank Zentrales System Emissionen (ZSE)[13] dokumentiert. Ferner sind dort die detaillierten Berechnungsgrundlagen für die Minderungspotenziale der zusätzlichen Maßnahmen aufgeführt.

[12] Energiereferenzszenario 2000-2020 für Emissionsberechnungen des Umweltbundesamtes; UBA TEXTE 30/05, Dessau, Dezember 2005; ISSN 0722-186X

[13] Datenbank Zentrales System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes, Version vom 16.11.2005

2 Grundlagen der Emissionsberechnung

Der Referenz-Emissionsprognose liegen die gegenwärtig in Deutschland geltenden Rechtsvorschriften zugrunde, einschließlich der darauf basierenden zukünftigen Maßnahmen, die bis zum Jahre 2010 wirksam werden. Die Berechnungen erfolgten nach den methodischen Vorgaben der Genfer Luftreinhaltekonvention (Coordination of Information on Air = CORINAIR) sowie der Klimarahmenkonvention (Intergovernmental Panel on Climate Change = IPCC)[14].

Die Emissionen werden durch Verknüpfung von Aktivitätsraten (AR) mit Emissionsfaktoren (EF) berechnet. Als Aktivitätsrate werden Bezugsgrößen gewählt, die repräsentativ für die die Emissionen verursachenden Vorgänge und Prozesse sind. Typisch sind z.B. für die Energiewirtschaft die jeweiligen detaillierten Brennstoffeinsätze, für den Produktionsbereich dagegen die Produktionsmenge und für die Landwirtschaft der Einsatz mineralischer Düngemittel und Tierbestandsdaten, differenziert nach Arten, Haltungssystemen, sowie Lagerung und Ausbringungsverfahren von Wirtschaftsdünger. Als Emissionsfaktor wird ein für die Emissionsursache repräsentativer Schadstoffausstoß pro Mengeneinheit durch Messung, Bilanzierung oder Expertenschätzung ermittelt. Alle Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren sowie deren Prognosen basieren auf dem wissenschaftlichen Kenntnisstand des Jahres 2005.

Das Referenzszenario wurde auf Basis des Emissionsinventars des Umweltbundesamtes (UBA) der Jahre 2000-2004 erstellt und unter Berücksichtigung von Aktivitätsprognosen (Kapitel 3) und der bereits beschlossenen umweltpolitischen Maßnahmen (Kapitel 4) fortgeschrieben. Das Emissionsinventar des UBA ist in der Datenbank ZSE in Form von insbesondere im Energie- und Verkehrsbereich sehr differenzierten Zeitreihen abgelegt. Aufgrund dieser Differenzierung ergeben sich annährend 500 Zeitreihen pro Staubfraktion, mit denen die Emissionsmenge berechnet wird. Darüber hinaus liegen diesen Zeitreihen in einigen Quellgruppen (v.a. Verkehr/mobile Quellen, und Landwirtschaft) noch deutlich weiter differenzierte Sektormodelle zugrunde, die als Satellitendatenbanken zum ZSE betrieben werden.

Die Qualitätssicherung und –kontrolle der Emissionsberichterstattung des Umweltbundesamtes unterliegt dem Managementsystem QSE[15], dass gemäß den Vorgaben des Intergovernmental Panel for Climate Change[16] (IPCC) entwickelt wurde.

[14] CORINAIR Atmospheric Inventory Guidebook - 2005, CORINAIR-Handbook http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en und The IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reporting Instructions, IPCC-Guidelines http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm

[15] QSE: Qualitäts-System Emissionsinventare

[16] IPCC: Good Practice Guidance and Management of Uncertainties; Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/

3 Referenzszenario der Aktivitätsraten

Zur Fortschreibung der Aktivitätsraten in die Zukunft wurden mehrere sektorale Aktivitätsprognosen für Energie (stationäre Quellen und Verkehr), Industrieprozesse, Landwirtschaft und sonstige für Staub emissionsrelevanten Quellgruppen erstellt, deren Grundannahmen so weit wie möglich in Konsistenz gebracht wurden:

3.1 Energiereferenzszenario

Als Aktivitätsszenario für den Energieverbrauch in stationären und mobilen Quellen dient das Energiereferenzszenario[17], welches die Bundesregierung der EU-Kommission im Rahmen des CAFE[18]-Programms übermittelt hat und vom Umweltbundesamt veröffentlicht worden ist.

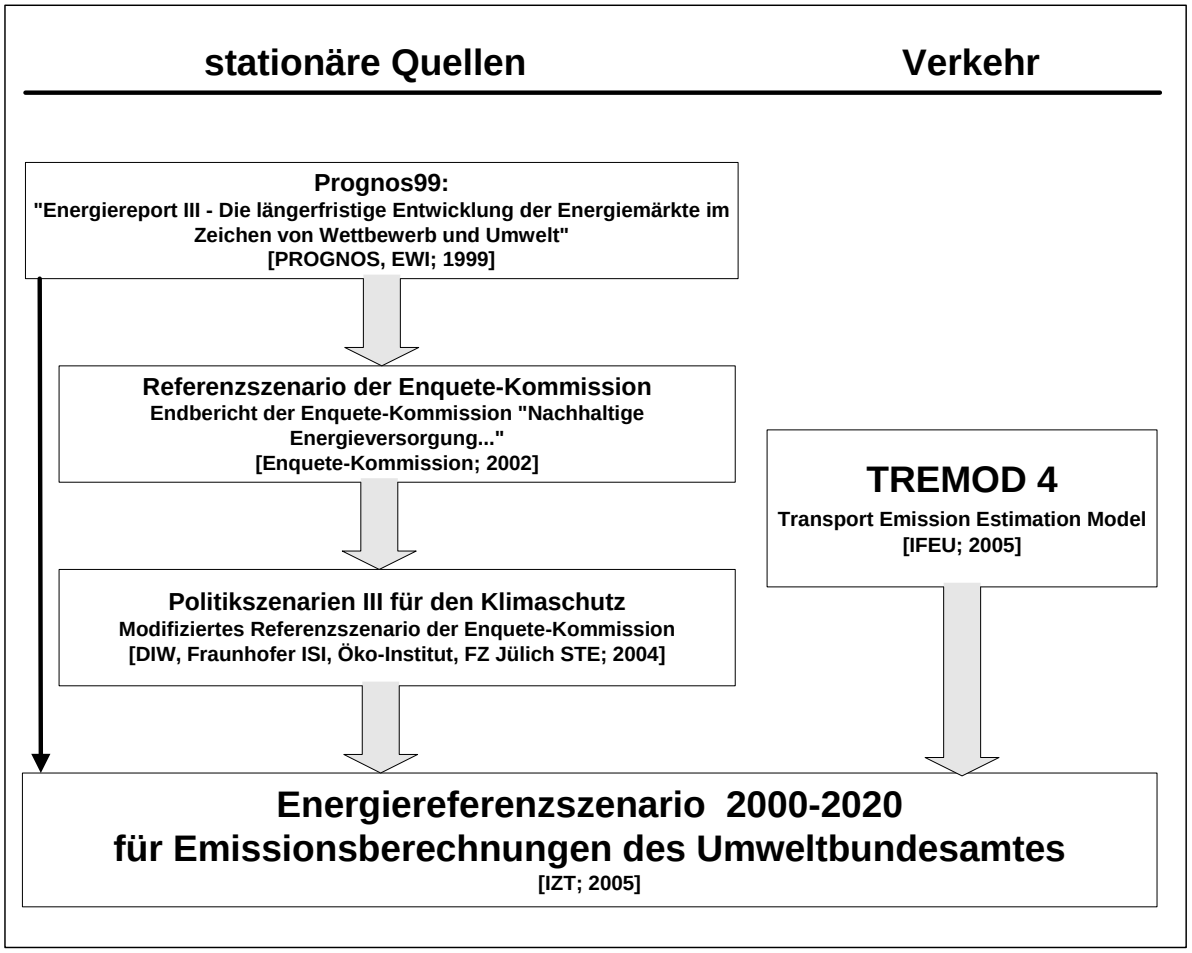

Abbildung 1: Genese des Energiereferenzszenarios des Umweltbundesamtes

Das Energiereferenzszenario bildet bestmöglich die Auswirkungen der bereits beschlossenen energie-, klima- und verkehrspolitischen Maßnahmen der Bundesregierung auf den zu erwartenden Energieträgermix bis 2020 ab. Im Bereich der stationären Anlagen sind Maßnahmen

[17] Energiereferenzszenario 2000-2020 für Emissionsberechnungen des Umweltbundesamtes; UBA TEXTE 30/05, Dessau, Dezember 2005; ISSN 0722-186X

[18] CAFE Clean Air for Europe - http://www.eu.int/comm/environment/air/cafe.htm

bis 2002 und für die mobilen Quellen sind Maßnahmen bis zum Jahr 2004[19] erfasst. Die unterschiedlichen „Stichtage“ für die berücksichtigten Maßnahmen ergeben sich aus der dem Energiereferenzszenario zugrunde liegenden Studie *Politikszenarien III*[20] für die stationären Anlagen einerseits und *TREMOD 4*[21] für die mobilen Quellen andererseits (vgl. Abbildung 1).

Die Müllverbrennung ist wegen der energetischen Nutzung der Abfälle sowohl im Emissionsinventar als auch in der Aktivitätsprognose in die Quellgruppe der stationären Feuerungen integriert.

Tabelle 1 fasst die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs bis 2020 zusammen. Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen auf den folgenden Seiten Sozioökonomische Rahmendaten und Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Energiereferenzszenario. Für alle weiteren Annahmen und sektoralen Energieverbrauchsdaten des Energiereferenzszenarios wird auf die erwähnte Veröffentlichung des Umweltbundesamtes verwiesen.

Tabelle 1: Primärenergieverbrauch im Energiereferenzszenario

	2000	**2010**	**2020**
	PJ		
Steinkohle	2.021	1.739	1.979
Braunkohle	1.550	1.558	1.597
Kernenergie	1.851	1.613	693
Mineralöle	5.500	5.208	4.961
Naturgase	2.995	3.276	3.454
Importsaldo Strom	11	0	8
Wasserkraft[1]	73	84	93
Windenergie[1]	35	137	220
Biomasse, Müll	280	533	541
Solar, Umgebung	67	36	65
Summe	14.384	14.184	13.611

[1] Berechnungen auf der Basis des Wirkungsgradansatzes

[19] Die seit 1.1.2005 geltende Lkw-Maut auf Bundesautobahnen ist also nicht berücksichtigt, vgl. Kapitel 4.

[20] Klimaschutz in Deutschland bis 2030 - Politikszenarien III: H.-J. Ziesing; P. Markewitz; B. Schlomann; F.C. Matthes et al.: Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III; UBA Climate Change Nr. 03/2005; Dessau, Januar 2005; ISSN 1611-8855

[21] TREMOD (Transport Emission Estimation Model): Wolfram Knörr et al. (IFEU): Fortschreibung „Daten- und Rechenmodell“: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030; Endbericht, im Auftrag des Umweltbundesamtes; UFOPLAN Nr. 204 45 139; Heidelberg, 2005

Tabelle 2: Sozioökonomische Rahmendaten für das Energiereferenzszenario

		2000	2010	2020
Einwohner in Mio.	Einwohner	82,2	82,1	80,8
BIP in Mrd. € zu Preisen von 1995	Bruttoinlandsprodukt	2023	2438	2882
	Bruttoinlandsprodukt pro Kopf	24611	29695	35668
Wohnflächen in Mio.m^2	Wohnflächen insgesamt	3090	3300	3600
	Wohnfläche pro Kopf	38	40	43
Verkehrsleistung in Mrd. Pkm bzw. tkm	Personenverkehrsleistung	1037,1	1112,9	1212,5
	Güterverkehrsleistung	494,2,1	603,9	730,6
Energieträgerpreise in €/GJ zu Preisen von 2000	Erdöl	2,81	3,56	4,31
	Erdgas	2,15	2,84	3,52
	Steinkohle	1,36	1,43	1,59
		1998	**2010**	**2020**
Arbeitsmarktdaten in Mio.	Erwerbspersonenpotenzial	42	42,7	41
	Erwerbstätige	37,5	37,6	37,2
Sektorale Wirtschaftsleistung Anteile in %	Land- und Forstwirtschaft	1,3	1,1	0,9
	Bergbau	0,4	0,2	0,1
	Verarbeitendes Gewerbe	22	21,5	21,3
	Energie- und Wasserversorgung	2,2	2	1,9
	Baugewerbe	6	5,3	4,8
	Handel, Gastgewerbe, Verkehr	17,7	18,3	18,7
	Kreditinstitute, Versicherungen	5,2	5,1	5
	Sonstige Dienstleistungen	39,1	41,5	43,1
	Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	6,3	4,9	4,2
	Insgesamt	100	100	100

Tabelle 3: Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Energiereferenzszenario

		2000	2010	2020
Personenverkehrsleistung insgesamt [in Mrd. Pkm]		**1037,1**	**1112,9**	**1212,5**
Anteile in %	Motorisierter Individualverkehr (MIV)	82,5	83,0	83,1
	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr (ÖSPV)	9,4	8,9	8,4
	Bahnen	7,2	7,0	7,3
	Luftverkehr (Inland)	0,9	1,0	1,3
	Summe	100	100	100
mit 1990=100	MIV	123,6	133,5	145,6
	ÖSPV	100,5	102,4	104,6
	Bahnen	121,8	127,3	142,7
	Luftverkehr (Inland)	157,7	190,6	260,6
	Summe	121,1	129,9	141,5
Güterverkehrsleistung insgesamt [in Mrd. tkm]		**494,2**	**603,9**	**730,6**
Anteile in %	Straße	70,1	72,4	73,8
	Bahn	16,5	14,9	13,6
	Schiff	16,0	13,5	12,7
	Summe	100	100	100
mit 1990=100	Straße	187,0	235,9	291,3
	Bahn	73,1	80,9	89,1
	Schiff	117,3	135,5	162,0
	Summe	139,9	170,9	206,8

Die Zuordnung der im Energiereferenzszenario vorliegenden sektoral und in Brennstoffgruppen aggregierten Brennstoffverbräuche auf das differenzierte Niveau der UBA-Emissionsdatenbank ZSE[22] erfolgte für die stationären Quellen in Anlehnung an die Verteilungsstruktur des Inventars von 2004 (Modellierungsstand Oktober 2005) unter Berücksichtigung steigender Anteile von GuD-Anlagen bei der Stromerzeugung. Für die mobilen Quellen stammten die aggregierten Daten ohnehin aus den Modellen TREMOD bzw. TREMOD MM, die ihrerseits direkt die Zeitreihenstruktur des ZSE bedienen.

[22] Datenbank Zentrales System Emissionen, Stand vom 16.11.2005

3.2 Aktivitätsszenario für Industrieprozesse

Für eine Reihe energieintensiver Industrieprozesse wurden die Aktivitätsprognosen konsistent mit dem Energiereferenzszenario in Anlehnung an die Studie *Politikszenarien III* bzw. an *TREMOD 4* (vgl. Kapitel 3.1) ermittelt. Diese sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Aktivitätsprognosen für die übrigen Industrieprozesse in den Quellgruppen Brennstoffaufbereitung, Metallindustrie, anorganische Chemie, Holz/Papier/Zellstoff, Lebensmittel, Mineralstoffe und Bau beruhen teilweise auf Schätzungen von Industrieverbänden und, wo diese nicht verfügbar waren, auf konstanten Fortschreibungen der Produktionsmengen der zurückliegenden Jahre.

Tabelle 4: Aktivitätsraten energieintensiver Industrieprozesse im Referenzszenario

Aktivitätsraten energieintensiver Industrieprozesse im Referenzszenario				
Produkt	**Einheit**	**2000**	**2010**	**2020**
Hüttenaluminium	Mio. t	0,64	0,65	0,20
Roheisen	Mio. t	30,85	26,23	23,25
Sinter	Mio. t	27,96	23,78	21,08
Aufblasstahl	Mio. t	33,05	28,11	24,92
Elektrostahl	Mio. t	13,32	14,69	17,03
Walzstahl	Mio. t	38,97	36,10	35,90
Glas	Mio. t	7,57	7,76	7,90
Kalk	Mio. t	7,16	6,90	6,50
Ziegel	Mio. t	22,13	16,90	16,00
Zement	Mio. t	36,31	35,05	34,55
Zucker	Mio. t	4,31	4,50	4,58
Verteilung von Ottokraftstoff	Mio. t	28,83	18,43	12,93

3.3 Aktivitätsszenario für die Landwirtschaft

Wesentliche Annahmen für die Entwicklung der Landwirtschaft bis 2010 sind im folgenden dargestellt[23]. Die Details dieser in FAL (2006) vorgelegten Schätzungen u. a. zur Entwicklung der Tierbestände, des Mineraldünger-Einsatzes, der Stall- und Weidehaltung und der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern bis 2010 werden voraussichtlich im Nationalen Inventarbericht (NIR) 2007 des Umweltbundesamtes veröffentlicht.

- Die Milchquote bleibt über das Jahr 2010 hinaus bestehen, sie wird gegenüber 1999 um 1,5 % aufgestockt, d. h. der Milchviehbestand geht aufgrund der Milchleistungssteigerung weiter zurück, wobei die leichte Quotenerhöhung berücksichtigt wird.
- Bei Mutterkühen, Mastbullen und Schafen bewirkt die Entkopplung der bisher tierbezogenen Direktzahlungen weitere Bestandsrückgänge. Ob die antizipierten Rückgänge exakt bis 2010 eintreten, ist ungewiss, die Berechnungen beziehen sich auf das Ende der Planungsperiode im Jahr 2012.
- Eine weitere Umstellung auf ökologischen Landbau hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Tierbestände; dies gilt auch für andere Extensivierungsmaßnahmen (Grünlandextensivierung).

[23] Quelle: FAL (2006): Osterburg, Bernhard (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume; Juli 2006): „Annahmen für die Prognose der Spurengas-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2010“

- Die Entwicklung des Stickstoff-Mineraldüngereinsatzes ist u.a. abhängig von den Preisentwicklungen, Ertragszuwächsen im Pflanzenbau, von der Abnahme an organischem Dünger, der Zunahme der Flächenstilllegung, sowie von geändertem Düngungsmanagement aufgrund von Düngungsberatung und Agrarumweltpolitik (Agrarumweltmaßnahmen, Düngeverordnung, Wasserschutzpolitiken).
- Die Flächennutzung für Getreide, Ölsaaten und Hülsenfrüchte geht aufgrund der Entkopplung der Direktzahlungen und der damit verbundenen Möglichkeit, die gesamte Betriebsfläche stillzulegen, zugunsten der Flächenstillegung zurück. Die Entwicklung des Ölsaatenanbaus hängt vor allem von der künftigen Biodieselnachfrage ab. Es wird unterstellt, dass der Anbau bis 2010 auf rd. 1,5 Mio. ha steigt (von derzeit 1,4 Mio. ha). Die Zuckermarktreform wird voraussichtlich zu einer Erhöhung der deutschen Quote um 238.000 t (+7 %) führen. Außerdem dürfte der Anbau von Rüben außerhalb der Quote für den Non-Food-Bereich zunehmen. Deshalb wird unterstellt, dass der Rübenanbau trotz steigender Zuckererträge pro Hektar und Preiskürzungen auf dem derzeitigen Niveau von rd. 440.000 ha bleiben wird. Zu anderen Flächennutzungen (z.B. Grünland) liegen derzeit keine ausreichenden Prognosen vor.

Die Partikelemissionen der Quellgruppe Tierhaltung / Wirtschaftsdünger-Management beinhalten nur Emissionen der Stallhaltung, nicht aber der Freilandhaltung. Für die Jahre 2015 und 2020 wird in Rahmen dieses Berichtes provisorisch mit konstanten Fortschreibungen von 2010 gerechnet.

3.4 Aktivitätsszenario für sonstige Quellgruppen

Sonstige im ZSE[24] erfasste für Staub emissionsrelevante Quellgruppen sind

- Schüttgutumschlag
- Krematorien
- Feuerwerk
- Grillen
- Zigarettenrauch
- Gewerbebetriebe

Für den **Schüttgutumschlag** wurde mit von 2004 konstant fortgeschriebenen Aktivitätsraten gerechnet. Für **Krematorien** wurde eine Trendextrapolation der Anzahl der Einäscherungen vorgenommen. Für **Feuerwerk**, **Grillen**, **Zigarettenrauch** und flüchtige Emissionen aus **Gewerbebetrieben** stellt die Bevölkerung die Aktivitätsrate dar, die dem Energiereferenzszenario entnommen wurde.

[24] Zentrales System Emissionen, Datenstand vom 29.11.2006

4 Referenzszenario der Emissionsfaktoren – Berücksichtigte Maßnahmen

Basis für die Prognosen der Emissionsfaktoren für 2010 bis 2020 sind die aktuellen Emissionsfaktoren der Berichtsjahre 2000-2005, die in den zukünftigen Jahren geltenden Emissionsgrenzwerte sowie Expertenschätzungen über strukturelle Veränderungen in den emissionsverursachenden Quellgruppen: Die Emissionsfaktoren der Berichtsjahre 2000-2005 beruhen ihrerseits teilweise auf einer Umrechnung von aktuell geltenden Emissionsgrenzwerten (nur für Gesamtstaub) und teilweise auf empirischen Emissionsdaten, die zum Teil eine deutliche Unterschreitung von Emissionsgrenzwerten belegen. Bei der Umrechnung von zukünftigen Emissionsgrenzwerten in Emissionsfaktoren werden teilweise auch Sicherheitsabstände der zu erwartenden Emissionen zu den Grenzwerten mit eingerechnet, welche die Anlagenbetreiber der Erfahrung nach zur sicheren Einhaltung der Grenzwerte berücksichtigen. Darüber hinaus können bei der Prognose der Emissionsfaktoren branchen- bzw. sektorspezifische Annahmen, z.B. zur Diffusion moderner Produktions- oder Umwelttechnologien, zu den Anteilen von Neu- und Altanlagen oder zur Stilllegung von Anlagen eine Rolle spielen. Die Emissionsfaktoren 2010 – 2020 wurden schließlich unter Abwägung all dieser Aspekte im Rahmen einer Expertenschätzung festgelegt. Zur Ableitung von Emissionsfaktoren für $PM_{2,5}$ und PM_{10} aus Emissionsfaktoren für Gesamtstaub werden in den meisten Quellgruppen Splitfaktoren benutzt, die den Anteil der jeweiligen Feinstaubfraktion an den Gesamtstaubemissionen angeben. Die Splitfaktoren beruhen auf Messergebnissen oder, wo diese nicht verfügbar sind, auf Expertenschätzungen.

Für die Fortschreibung der Emissionsfaktoren in die Zukunft wurden in diesem Zusammenhang alle bis zum 31.12.2005 beschlossenen umweltpolitischen Maßnahmen berücksichtigt. Die Emissionsfaktoren des Referenzszenarios liegen deshalb für die Jahre 2010 - 2020 in vielen Quellgruppen deutlich unter denen des Basisjahres 2000.

Die bedeutendsten der berücksichtigten Maßnahmen sind:

Stationäre Feuerungen und Industrieprozesse

- 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen-Verordnung), in der auch alle Novellen der EU-Großfeuerungsanlagen-Richtlinie umgesetzt sind;
- 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung von Abfällen);
- 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen);
- 3. BImSchV (Verordnung über den Schwefelgehalt flüssiger Kraft- und Brennstoffe), in der auch die Richtlinie 1999/32/EG umgesetzt wird; sowie
- TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft), in der u.a. Emissionsgrenzwerte für genehmigungsbedürftigen Anlagen festgelegt sind und die einen Teil der Umsetzung der IVU-Richtline 96/61/EG darstellt;

Mobile Quellen:

- Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), in der die technischen Anforderungen für die Zulassung von Kraftfahrzeugen in Deutschland festgelegt sind. Durch die StVZO wird auch die Gesetzgebung der Europäischen Union zur Verminderung von Schadstoffen aus Kfz-Abgasen in nationales Recht umsetzt, z.B. bei
  Pkw und leichten Nutzfahrzeugen: Richtlinien 91/441/EWG und 93/59/EWG (Euro 1), 94/12/EG und 96/69/EG (Euro 2) sowie 98/69/EG (Euro 3, Euro 4);

Schweren Nutzfahrzeugen und Bussen: Richtlinien 91/542/EWG (Euro 1, Euro 2) und 1999/96/EG (Euro 3 – Euro 5),
Motorisierten Zweirädern: Richtlinien 97/24/EG (Euro 1 und Euro 2 bei Kleinkrafträdern, Euro 1 bei Krafträdern), 2002/51/EG (Euro 2, Euro 3 bei Krafträdern),
Land- und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen: Richtlinie 2000/25/EG;

- Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG), in dem die Besteuerung von Pkw und Lkw in Abhängigkeit u. a. von der Grenzwertstufe festgelegt ist, womit im Pkw-Sektor eine gewisse Lenkungswirkung zur vorzeitigen Einführung neuer Grenzwertstufen ausgeübt wird;
- 28. BImSchV, (Verordnung über Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsmotoren), in der die Gesetzgebung der Europäischen Union zur Verminderung von Schadstoffen aus Abgasen mobiler Maschinen und Geräte sowie dieselbetriebener Lokomotiven und Triebwagen umgesetzt wird, z.B. für neue Dieselmotoren: Richtlinien 97/68/EG, 2004/26/EG und für neue Ottomotoren >18kW: Richtlinie 2002/88/EG;
- 3. BImSchV (Verordnung über den Schwefelgehalt flüssiger Kraft- und Brennstoffe), in der auch die Richtlinie 1999/32/EG umgesetzt wird;
- 10. BImSchV (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen), in der auch die Richtlinie 2003/17/EG umgesetzt wird;
- **Nicht berücksichtigt: Lkw-Maut:**
  seit 1.1.2005 gilt in Deutschland auf Bundesautobahnen eine Maut für Lkw > 12t. Grundlage dafür ist das Gesetz über die Erhebung von streckenbezogenen Gebühren für die Benutzung von Bundesautobahnen mit schweren Nutzfahrzeugen (ABMG) aus dem Jahr 2002. Zum Abschluss der Referenzprognose waren noch keine verlässlichen Aussagen zur Wirkung der Maut auf Bestände und Fahrleistungen von Lkw im Straßengüterverkehr möglich. Daher ist diese Maßnahme in der Referenzprognose nicht berücksichtigt.
- **Nicht berücksichtigt: Richtlinie 2005/69/EG:**
  Mit der EU-Richtlinie 2005/69/EG soll sich ab 2010 die Zusammensetzung von Fahrzeugreifen hinsichtlich der Weichmacheranteile ändern. Dies dürfte auch Einfluss auf die Abriebemissionen des Straßenverkehrs haben. Da aber in der Emissionsmodellierung des UBA für die Abriebemissionen mangels besserer Wissensbasis ohnehin mit den zeitlich konstanten Default-Emissionsfaktoren des CORINAIR-Guidebook gerechnet wird, konnte die Richtlinie 2005/69/EG nicht berücksichtigt werden.

5 Emissionsberechnungen

Im Folgenden wird für die Fraktionen $PM_{2,5}$, PM_{10} und Gesamtstaub die Entwicklung von 2000 über 2005, 2010 und 2015 bis 2020 im dargestellt. Grundlage hierfür sind die in den Kapiteln 3 und 4 genannten Annahmen zur Entwicklung der Aktivitätsraten und der Emissionsfaktoren.

Die Übersichtstabellen sind zunächst in der Systematik des offiziellen NFR[25]-Berichtsformats der UN/ECE gegliedert. Die NFR-Systematik ist weitestgehend identisch mit der CRF[26]-Systematik der Treibhausgasberichterstattung und deshalb für eine eher technologisch orientierte Interpretation des Emissionsinventars der NEC-Schadstoffe teilweise nur bedingt geeignet. Deshalb werden für jeden Schadstoff zusätzlich zu den NFR-Tabellen noch eher technologisch strukturierte Tabellen aufgeführt. In Anlehnung an die Gepflogenheiten der internationalen Emissionsberichterstattung enthalten alle Tabellen die Emissionsdaten in der Einheit Kilotonne (= Gigagramm), auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die dahinterliegende Rechengenauigkeit der Emissionsmodellierung ist um mehrere Größenordnungen höher, aber angesichts der Datenunsicherheiten irrelevant.

Die Angaben zum Jahr 2005 stellen eine erste Hochrechnung dar, da zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Endberichtes insbesondere für die Aktivitätsraten noch keine statistisch abgesicherten Daten vorlagen. Nach den Vorgaben der internationalen Emissionsberichterstattung sind die Emissionen von internationalem Flug- und Schiffsverkehr NICHT in die Berichterstattung und Prognosen eingeschlossen.

5.1 Referenzemissionsszenario für $PM_{2,5}$

Die Referenzentwicklung der $PM_{2,5}$-Emissionen von 2000 bis 2020 ist in unterschiedlichen Aggregationen in Tabelle 5 (Seite 28) und in Tabelle 6 (Seiten 30f.) dargestellt. Bei der Interpretation der Daten sollte beachtet werden, dass es sich bei den Emissionsdaten sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft um Modellergebnisse handelt, die nicht unbeträchtlichen Unsicherheiten unterliegen (vgl. auch Kapitel 8).

Die wesentlichen emissionsverursachenden Quellgruppen sind danach bei $PM_{2,5}$ im Jahr 2000

- der Straßenverkehr (29 %, davon ca. 75 % aus Auspuffemissionen und 25 % aus Abriebemissionen),
- Kleinfeuerungsanlagen (18 %, im wesentlichen Holzfeuerungen),
- mobile Maschinen (11 %),
- Großfeuerungsanlagen & TA Luft-Feuerungen (9 %) und
- die Eisen- und Stahl-Industrie (7 %).

Die übrigen 26 % verteilen sich in 2000 auf eine Vielzahl von Quellgruppen wie Zigarettenrauch, Schüttgutumschlag, Mineralstoffindustrie, Landwirtschaft, Gewerbebetriebe, Feuerwerk und weitere mehr.

[25] NFR: New Format for Reporting

[26] CRF: Common Reporting Format des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Tabelle 5: Referenzszenario für $PM_{2,5}$-Emissionen (NFR)

$PM_{2,5}$ - Emissionen in Deutschland [kt]						
NFR	**Quellgruppe**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
1 A	**Verbrennung von Brennstoffen**	**82,97**	**70,68**	**48,46**	**39,23**	**34,73**
1 A 1	Energieindustrie	10,36	10,33	8,62	8,39	8,84
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	1,88	1,73	1,78	1,64	1,63
1 A 3	Transport	35,54	25,38	14,39	8,55	6,30
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	34,90	32,96	23,41	20,38	17,69
1 A 5	Andere: Militär	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26
1 B	**Flüchtige Brennstoffemissionen**	**0,47**	**0,43**	**0,37**	**0,35**	**0,34**
1 B 1	Feste Brennstoffe	0,47	0,43	0,37	0,35	0,34
2	**Industrieprozesse**	**17,47**	**15,80**	**13,52**	**13,00**	**12,48**
2 A	Mineralstoffindustrie	5,61	4,43	4,30	4,30	4,28
2 B	Chemische Industrie	0,34	0,30	0,29	0,29	0,29
2 C	Metallproduktion	10,34	9,92	7,85	7,34	6,83
2 D	Andere Industrieprozesse	1,19	1,15	1,07	1,07	1,08
4	**Landwirtschaft***	**4,77**	**4,65**	**4,39**	**4,39**	**4,39**
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	4,77	4,65	4,39	4,39	4,39
4 D	Bewirtschaftung von Ackerland*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	**Abfallwirtschaft**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0	0	0	0	0
7	**Sonstiges**	**30,45**	**29,57**	**28,91**	**29,29**	**29,59**
7 A	Schüttgutumschlag	6,14	4,84	4,58	4,58	4,58
7 B	Straßenverkehr - Abrieb	10,15	10,59	11,18	11,67	12,08
7 C	Sonstiges	14,16	14,15	13,14	13,04	12,94
	Summe	**136,13**	**121,13**	**95,64**	**86,26**	**81,53**
	Thematische Strategie Baseline (CLE)	**171,35**	**146,93**	**126,75**	**115,03**	**110,61**
	Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	**-35,22**	**-25,80**	**-31,11**	**-28,77**	**-29,07**
	Thematische Strategie Szenario (TSZ)					**90,00**
	Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) TSZ 2020					**-8,47**

* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

Im zeitlichen Verlauf bis 2020 werden die $PM_{2,5}$-Emissionen im Referenzszenario von 136 kt $PM_{2,5}$ (2000) um 55 kt auf 82 kt $PM_{2,5}$ (2020) reduziert, das entspricht einer Minderungsrate von 40 %. Die größten Beiträge zu diesen Minderungen liefern der Straßenverkehr (bei Auspuffemissionen 24 kt $PM_{2,5}$-Reduktion - der Abrieb steigt leicht!) und die mobilen Maschinen sowie die Kleinfeuerungsanlagen (11 kt bzw. 10 kt $PM_{2,5}$-Reduktion). Leichte $PM_{2,5}$-Emissionsminderungen sind bei Großfeuerungsanlagen, der Metallindustrie, der Mineralstoffindustrie und beim Schüttgutumschlag zu verzeichnen. Alle anderen Quellgruppen (emissionsrelevant sind dabei neben den Abriebemissionen des Verkehrs, die im Zeitverlauf ja sogar leicht steigen, v.a. Haushaltstätigkeiten, Landwirtschaft und Gewerbe) bleiben annähernd konstant; dies ist allerdings auch darin begründet, dass über diese Quellgruppen meist sehr wenige Informationen vorliegen und deshalb mit zeitlich konstanten (Default-) Emissionsfaktoren gerechnet werden musste.

Beim Straßenverkehr ist auffällig, dass die modellierten $PM_{2,5}$-Emissionen des Abriebs (Straße, Bremse und Reifen) die Auspuffemissionen nach 2010 übersteigen (Tabelle 6). Dies liegt daran, dass einerseits die Abriebemissionen parallel zu den Fahrleistungen im Zeitverlauf leicht steigen aber andererseits die Auspuffemissionen durch stark verbesserte Motor- und Reinigungstechniken trotz höherer Fahrleistungen stark sinken. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass für den Abrieb die Wissensbasis noch sehr beschränkt ist und das Umweltbundesamt noch keine eigenen Emissionsfaktoren für den Abrieb ermittelt hat. Deshalb wurden die zeitlich konstanten Default-EF des CORINAIR-Guidebook genutzt.

Als Folge dieser Entwicklungen sieht im Emissionsmodell für 2020 die Struktur der größten $PM_{2,5}$-Quellgruppen wie folgt aus:

- Straßenverkehr (21 %, davon nur 30 % aus Auspuffemissionen, dafür aber 70 % aus Abriebemissionen)
- Kleinfeuerungsanlagen (18 %, im wesentlichen Holzfeuerungen)
- Großfeuerungsanlagen & TA Luft-Feuerungen (13 %)
- Eisen- und Stahl-Industrie (8 %)
- Zigarettenrauch (7 %)
- Schüttgutumschlag (6 %)
- Landwirtschaft (5 %, im wesentlichen Tierhaltung)

Die übrigen 21 % verteilen sich in 2020 in gegenüber 2000 veränderter Reihenfolge auf die Quellgruppen Mineralstoffindustrie, mobile Maschinen, Feuerwerk, Gewerbebetriebe und weitere mehr.

Die Quellgruppen Bau, Gewerbe und sonstige Haushaltstätigkeiten (Zigarettenrauch, Feuerwerk, Grillen) mit $PM_{2,5}$-Emissionsanteilen von 11 % (2000) bis 17 % (2020) basieren im Referenzszenario komplett auf den entsprechenden Schätzungen von des RAINS-Modells[27] und können nicht mit eigenen, auf die nationalen Gegebenheiten angepassten Schätzungen des UBA validiert werden.

Der Grad der Übereinstimmung bei den $PM_{2,5}$-Emissionen zwischen dem hier vorgelegten Referenzszenario und dem Referenzszenario (CLE) der Thematischen Strategie[28] der Europäischen Kommission von 2005 verschlechtert sich leicht auf der Zeitschiene: Für 2000 kommt dieses Referenzszenario noch auf 79 % der in RAINS[28] bilanzierten Emissionen, bis 2020 reduziert sich dieser Anteil auf 74 %. Eine Analyse dieser Abweichungen zu RAINS ist aufgrund von verschiednen Systematiken in der Bilanzierung recht aufwändig und war nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens.

Für $PM_{2,5}$ ist in der Thematischen Strategie auch ein über CLE hinausgehender Zielwert für 2020 von 90 kt $PM_{2,5}$ enthalten, der im Referenzszenario (82 kt $PM_{2,5}$) bereits um 9 % unterschritten wird. Dieser Datenvergleich steht allerdings unter dem Vorbehalt einerseits der nicht unbeträchtlichen Datenunsicherheiten (vgl. Kapitel 8) sowie der Aktualisierungen der Datenbasen und Szenarioergebnisse des RAINS-Modells[29].

[27] http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/; vgl. auch IIASA 2002

[28] Die Datenbasis des Referenzszenarios der Thematischen Strategie ist das RAINS-Szenario „CP_CLE_Aug04(Nov04)“

[29] So lag z.B. im November 2006 die in RAINS im Szenario NEC_NAT_CLE4REV (Aug06) für 2020 bilanzierten $PM_{2,5}$-Emission bei 98 kt, gegenüber 111 kt $PM_{2,5}$ in der Thematischen Strategie (RAINS-Szenario CP_CLE_Aug04(Nov04)).

Tabelle 6: Referenzszenario für $PM_{2,5}$-Emissionen (technologisch)

Referenzszenario: $PM_{2,5}$ - Emissionen in Deutschland [kt]					
Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020
stationäre Feuerungen	37,34	36,74	27,33	25,98	25,45
GFA, TA Luft NFR 1A1, 1A2, 1A3 (ohne PF)	12,19	12,01	10,36	9,99	10,43
Motoren NFR 1A1, 1A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Haushalte / Kleinverbrauch / Kleinfeuerung	25,13	24,71	16,94	15,96	14,99
Müllverbrennung	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Verkehr / mobile Quellen	55,76	44,50	32,30	24,91	21,35
Straßenverkehr gesamt	39,54	32,00	22,92	18,49	17,15
Σ Auspuff Straßenverkehr	29,38	21,41	11,74	6,82	5,07
Σ Abrieb Straßenverkehr	10,15	10,59	11,18	11,67	12,08
Personenkraftwagen (PKW)	14,78	14,47	10,85	9,18	8,61
Auspuff PKW	8,30	7,77	3,80	1,78	0,94
Σ Abrieb PKW	6,48	6,71	7,05	7,40	7,66
leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	4,13	3,78	2,72	2,28	2,03
Auspuff LNF	3,64	3,20	2,11	1,64	1,37
Σ Abrieb LNF	0,49	0,57	0,61	0,64	0,66
schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	18,31	12,53	8,51	6,40	5,96
Auspuff SNF	15,42	9,51	5,30	3,08	2,55
Σ Abrieb SNF	2,89	3,01	3,21	3,31	3,41
Busse (BUS)	2,24	1,14	0,74	0,53	0,42
Auspuff BUS	2,02	0,93	0,53	0,31	0,21
Σ Abrieb BUS	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21
Motorisierte Zweiräder (nur Abrieb)	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12
Flugverkehr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bahn / Schiff	1,41	1,05	0,91	0,83	0,85
übriger Verkehr / mobile Maschinen / Militär	14,81	11,45	8,47	5,58	3,35
Bauwirtschaft	4,74	2,91	1,73	0,89	0,38
Landwirtschaft / Forstwirtschaft	9,81	8,28	6,48	4,43	2,72
Militär	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Brennstoffaufbereitung	0,49	0,45	0,38	0,36	0,35
Kohleaufbereitung	0,34	0,31	0,30	0,30	0,30
SK-Kokerei	0,15	0,14	0,07	0,05	0,04
Mineralstoffindustrien	4,80	3,62	3,51	3,47	3,43
Zement / Klinker	2,25	1,86	2,17	2,16	2,14
Kalk	0,17	0,09	0,08	0,08	0,07
Grobkeramik	1,94	1,28	0,84	0,82	0,80
Bitumen	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17
Glas	0,24	0,22	0,24	0,24	0,25
Salz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chemieindustrie	0,34	0,30	0,29	0,29	0,29
anorganische Chemie	0,34	0,30	0,29	0,29	0,29

Fortsetzung nächste Seite ...

Referenzszenario: $PM_{2,5}$ - Emissionen in Deutschland [kt]					
Quellgruppe	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
Fortsetzung von der vorigen Seite ...					
Eisen & Stahl	**9,54**	**9,10**	**7,17**	**6,83**	**6,49**
Hochofen	***3,75***	***3,51***	***3,19***	***3,01***	***2,82***
Sinter	***4,28***	***4,20***	***2,73***	***2,57***	***2,42***
Oxy-Stahl	***0,80***	***0,75***	***0,58***	***0,55***	***0,51***
E-Stahl	***0,40***	***0,33***	***0,36***	***0,39***	***0,41***
Walzstahl	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
EST-Guss	***0,31***	***0,32***	***0,31***	***0,31***	***0,31***
Ferrolegierungen	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Nichteisen-Metalle	**0,80**	**0,82**	**0,68**	**0,51**	**0,35**
NE-Schwermetalle	***0,06***	***0,05***	***0,05***	***0,05***	***0,05***
Aluminium	***0,73***	***0,76***	***0,61***	***0,45***	***0,28***
Feuerverzinken	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***
sonstige Industrien	**1,19**	**1,15**	**1,07**	**1,07**	**1,08**
Zellstoff	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***
Spanplatten	***0,97***	***0,91***	***0,84***	***0,84***	***0,84***
Zuckerproduktion	***0,21***	***0,23***	***0,22***	***0,23***	***0,23***
Landwirtschaft*	**4,77**	**4,65**	**4,39**	**4,39**	**4,39**
Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	***4,77***	***4,65***	***4,39***	***4,39***	***4,39***
Bewirtschaftung von Ackerland*	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Abfallwirtschaft	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
Krematorien	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***
sonstiges	**21,11**	**19,79**	**18,52**	**18,44**	**18,36**
Schüttgutumschlag	***6,14***	***4,84***	***4,58***	***4,58***	***4,58***
Bau	***0,81***	***0,81***	***0,80***	***0,82***	***0,85***
Gewerbebetriebe	***3,75***	***3,75***	***2,76***	***2,74***	***2,71***
Feuerwerk	***2,88***	***2,88***	***2,87***	***2,85***	***2,83***
Grillen	***1,36***	***1,36***	***1,35***	***1,34***	***1,33***
Zigarettenrauch	***6,17***	***6,17***	***6,16***	***6,11***	***6,06***
Summe	**136,13**	**121,13**	**95,64**	**86,26**	**81,53**
Thematische Strategie Baseline (CLE)	**171,35**	**146,93**	**126,75**	**115,03**	**110,61**
Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	***-35,22***	***-25,80***	***-31,11***	***-28,77***	***-29,07***
Thematische Strategie Szenario (TSZ)					**90,00**
Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) TSZ 2020					***-8,47***

* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

5.2 Referenzemissionsszenario für PM_{10}

Die Referenzentwicklung der PM_{10}-Emissionen von 2000 bis 2020 ist in unterschiedlichen Aggregationen in Tabelle 7 und in Tabelle 8 (Seiten 34f.) dargestellt. Bei der Interpretation der Daten sollte beachtet werden, dass es sich bei den Emissionsdaten sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft um Modellergebnisse handelt, die nicht unbeträchtlichen Unsicherheiten unterliegen (vgl. auch Kapitel 8).

Die wesentlichen emissionsverursachenden Quellgruppen sind danach bei PM_{10} im Jahr 2000

- der Straßenverkehr (21 %, davon ca. 60 % aus Auspuffemissionen und 40 % aus Abriebemissionen),
- der Schüttgutumschlag (14 %),
- die Eisen- und Stahl-Industrie (12 %),
- Kleinfeuerungsanlagen (12 %, im wesentlichen Holzfeuerungen),
- die Landwirtschaft (9 %, im wesentlichen Tierhaltung),
- mobile Maschinen (7 %),
- Großfeuerungsanlagen & TA Luft-Feuerungen (6 %) und
- Gewerbebetriebe (5 %).

Die übrigen 14 % verteilen sich in 2000 auf weitere Quellgruppen wie Bauwirtschaft, Mineralstoffindustrie, Zigarettenrauch, Feuerwerk und andere. Die PM_{10}-Emissionen sind somit deutlich breiter auf verschiedene Quellgruppen verteilt als die $PM_{2,5}$-Emissionen.

Tabelle 7: Referenzszenario für PM_{10}-Emissionen (NFR)

PM_{10} - Emissionen in Deutschland [kt]						
NFR	**Quellgruppe**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
1 A	**Verbrennung von Brennstoffen**	**86,39**	**74,13**	**51,02**	**41,67**	**37,15**
1 A 1	Energieindustrie	11,71	11,69	9,73	9,46	9,96
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	2,11	1,95	2,01	1,85	1,84
1 A 3	Transport	35,54	25,38	14,39	8,55	6,30
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	36,73	34,84	24,64	21,54	18,79
1 A 5	Andere: Militär	0,29	0,27	0,26	0,26	0,26
1 B	**Flüchtige Brennstoffemissionen**	**1,01**	**0,92**	**0,71**	**0,66**	**0,62**
1 B 1	Feste Brennstoffe	1,01	0,92	0,71	0,66	0,62
2	**Industrieprozesse**	**46,62**	**43,24**	**37,58**	**36,44**	**35,25**
2 A	Mineralstoffindustrie	14,78	12,98	12,54	12,77	12,94
2 B	Chemische Industrie	0,53	0,48	0,46	0,46	0,46
2 C	Metallproduktion	29,47	27,98	22,90	21,54	20,17
2 D	Andere Industrieprozesse	1,85	1,80	1,68	1,68	1,69
4	**Landwirtschaft***	**20,36**	**20,52**	**19,86**	**19,86**	**19,86**
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	19,18	19,33	18,67	18,67	18,67
4 D	Bewirtschaftung von Ackerland*	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19
6	**Abfallwirtschaft**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7	**Sonstiges**	**71,16**	**65,42**	**62,27**	**63,03**	**63,63**
7 A	Schüttgutumschlag	30,71	24,18	22,90	22,90	22,90
7 B	Straßenverkehr - Abrieb	18,79	19,60	20,70	21,61	22,37
7 C	Sonstiges	21,66	21,64	18,66	18,51	18,37
	Summe	**225,55**	**204,24**	**171,45**	**161,66**	**156,53**
	Thematische Strategie Baseline (CLE)	**260,17**	**232,76**	**207,11**	**193,94**	**190,24**
	Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	**-34,62**	**-28,52**	**-35,66**	**-32,27**	**-33,71**

* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

Im zeitlichen Verlauf bis 2020 werden die PM_{10}-Emissionen im Referenzszenario von 226 kt PM_{10} (2000) um 69 kt auf 157 kt PM_{10} (2020) reduziert, das entspricht einer Minderungsrate von 31 %. Die größten Beiträge zu diesen Minderungen liefern

- der Straßenverkehr (bei Auspuffemissionen 24 kt PM_{10}-Reduktion - der Abrieb steigt um 4 kt PM_{10}),
- die mobilen Maschinen (11 kt PM_{10}-Reduktion),
- die Kleinfeuerungsanlagen (10 kt PM_{10}-Reduktion)
- die Eisen- und Stahl-Industrie (8 kt PM_{10}-Reduktion) und
- der Schüttgutumschlag (8 kt PM_{10}-Reduktion).

Leichte PM_{10}-Emissionsminderungen sind bei Gewerbebetrieben, Mineralstoffindustrie und Großfeuerungsanlagen zu verzeichnen. Alle anderen Quellgruppen (emissionsrelevant sind dabei neben den Abriebemissionen des Verkehrs, die im Zeitverlauf ja sogar steigen, v.a. Landwirtschaft, Haushaltstätigkeiten und Bau) bleiben annähernd konstant; dies ist allerdings auch darin begründet, dass über diese Quellgruppen meist sehr wenige Informationen vorliegen und deshalb mit zeitlich konstanten (Default-) Emissionsfaktoren gerechnet werden musste.

Beim Straßenverkehr ist auffällig, dass die modellierten PM_{10}-Emissionen des Abriebs (Straße, Bremse und Reifen) die Auspuffemissionen schon vor 2010 übersteigen (Tabelle 8). Dies liegt daran, dass einerseits die Abriebemissionen parallel zu den Fahrleistungen im Zeitverlauf leicht steigen aber andererseits die Auspuffemissionen durch stark verbesserte Motor- und Reinigungstechniken trotz höherer Fahrleistungen stark sinken. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass für den Abrieb die Wissensbasis noch sehr beschränkt ist und das Umweltbundesamt noch keine eigenen Emissionsfaktoren für den Abrieb ermittelt hat. Deshalb wurden die zeitlich konstanten Default-EF des CORINAIR-Guidebook genutzt.

Als Folge dieser Entwicklungen sieht im Emissionsmodell für 2020 die Struktur der größten PM_{10}-Quellgruppen wie folgt aus:

- Straßenverkehr (18 %, davon nur knapp 20 % aus Auspuffemissionen, dafür aber über 80 % aus Abriebemissionen)
- Schüttgutumschlag (15 %)
- Landwirtschaft (13 %, im wesentlichen Tierhaltung)
- Eisen- und Stahl-Industrie (13 %)
- Kleinfeuerungsanlagen (10 %, im wesentlichen Holzfeuerungen)
- Großfeuerungsanlagen & TA Luft-Feuerungen (7 %)
- Bauindustrie (5 %)
- Gewerbebetriebe (5 %)

Die übrigen 14 % verteilen sich in 2020 in gegenüber 2000 veränderter Reihenfolge auf die Quellgruppen Zigarettenrauch, Mineralstoffindustrie, mobile Maschinen, Feuerwerk und weitere mehr.

Tabelle 8: Referenzszenario für PM_{10}-Emissionen (technologisch)

Referenzszenario: PM_{10} - Emissionen in Deutschland [kt]					
Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020
stationäre Feuerungen	40,70	40,12	29,86	28,40	27,86
GFA, TA Luft NFR 1A1, 1A2, 1A3 (ohne PF)	13,71	13,51	11,65	11,24	11,74
Motoren NFR 1A1, 1A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Haushalte / Kleinverbrauch / Kleinfeuerung	26,96	26,58	18,17	17,13	16,09
Müllverbrennung	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Verkehr / mobile Quellen	64,40	53,51	41,82	34,85	31,64
Straßenverkehr gesamt	48,18	41,02	32,44	28,43	27,43
Σ Auspuff Straßenverkehr	29,38	21,41	11,74	6,82	5,07
Σ Abrieb Straßenverkehr	18,79	19,60	20,70	21,61	22,37
Personenkraftwagen (PKW)	20,31	20,19	16,87	15,49	15,14
Auspuff PKW	8,30	7,77	3,80	1,78	0,94
Σ Abrieb PKW	12,01	12,43	13,07	13,71	14,20
leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	4,54	4,27	3,24	2,83	2,60
Auspuff LNF	3,64	3,20	2,11	1,64	1,37
Σ Abrieb LNF	0,90	1,06	1,13	1,18	1,23
schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	20,80	15,12	11,27	9,24	8,90
Auspuff SNF	15,42	9,51	5,30	3,08	2,55
Σ Abrieb SNF	5,38	5,60	5,97	6,16	6,35
Busse (BUS)	2,39	1,29	0,89	0,67	0,57
Auspuff BUS	2,02	0,93	0,53	0,31	0,21
Σ Abrieb BUS	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Motorisierte Zweiräder (nur Abrieb)	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23
Flugverkehr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bahn / Schiff	1,41	1,05	0,91	0,83	0,85
übriger Verkehr / mobile Maschinen / Militär	14,81	11,45	8,47	5,58	3,35
Bauwirtschaft	4,74	2,91	1,73	0,89	0,38
Landwirtschaft / Forstwirtschaft	9,81	8,28	6,48	4,43	2,72
Militär	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Brennstoffaufbereitung	1,09	1,02	0,75	0,69	0,65
Kohleaufbereitung	0,57	0,51	0,50	0,50	0,49
SK-Kokerei	0,52	0,51	0,25	0,19	0,15
Mineralstoffindustrien	6,71	4,98	4,64	4,58	4,53
Zement / Klinker	2,47	2,05	2,38	2,37	2,35
Kalk	0,28	0,14	0,13	0,13	0,13
Grobkeramik	3,17	2,09	1,38	1,34	1,30
Bitumen	0,37	0,31	0,33	0,33	0,33
Glas	0,41	0,38	0,41	0,42	0,42
Salz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chemieindustrie	0,53	0,48	0,46	0,46	0,46
anorganische Chemie	0,53	0,48	0,46	0,46	0,46

Fortsetzung nächste Seite ...

Referenzszenario: PM_{10} - Emissionen in Deutschland [kt]					
Quellgruppe	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
... Fortsetzung von der vorigen Seite					
Eisen & Stahl	**27,89**	**26,36**	**21,57**	**20,56**	**19,54**
Hochofen	***13,97***	***13,07***	***11,88***	***11,21***	***10,53***
Sinter	***8,91***	***8,74***	***5,68***	***5,36***	***5,04***
Oxy-Stahl	***2,99***	***2,80***	***2,16***	***2,04***	***1,92***
E-Stahl	***1,50***	***1,24***	***1,33***	***1,44***	***1,54***
Walzstahl	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
EST-Guss	***0,51***	***0,52***	***0,51***	***0,51***	***0,51***
Ferrolegierungen	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Nichteisen-Metalle	**1,59**	**1,62**	**1,33**	**0,98**	**0,62**
NE-Schwermetalle	***0,09***	***0,08***	***0,09***	***0,09***	***0,09***
Aluminium	***1,48***	***1,52***	***1,23***	***0,87***	***0,52***
Feuerverzinken	***0,02***	***0,02***	***0,02***	***0,02***	***0,02***
sonstige Industrien	**1,85**	**1,80**	**1,68**	**1,68**	**1,69**
Zellstoff	***0,01***	***0,02***	***0,02***	***0,02***	***0,02***
Spanplatten	***1,46***	***1,38***	***1,27***	***1,27***	***1,27***
Zuckerproduktion	***0,38***	***0,41***	***0,40***	***0,40***	***0,41***
Landwirtschaft*	**20,36**	**20,52**	**19,86**	**19,86**	**19,86**
Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	***19,18***	***19,33***	***18,67***	***18,67***	***18,67***
Bewirtschaftung von Ackerland*	***1,18***	***1,19***	***1,19***	***1,19***	***1,19***
Abfallwirtschaft	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
Krematorien	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***
sonstiges	**60,44**	**53,82**	**49,47**	**49,60**	**49,68**
Schüttgutumschlag	***30,71***	***24,18***	***22,90***	***22,90***	***22,90***
Bau	***8,07***	***8,00***	***7,91***	***8,19***	***8,41***
Gewerbebetriebe	***11,25***	***11,24***	***8,28***	***8,21***	***8,14***
Feuerwerk	***2,88***	***2,88***	***2,87***	***2,85***	***2,83***
Grillen	***1,36***	***1,36***	***1,35***	***1,34***	***1,33***
Zigarettenrauch	***6,17***	***6,17***	***6,16***	***6,11***	***6,06***
Summe	**225,55**	**204,24**	**171,45**	**161,66**	**156,53**
Thematische Strategie Baseline (CLE)	**260,17**	**232,76**	**207,11**	**193,94**	**190,24**
Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	***-34,62***	***-28,52***	***-35,66***	***-32,27***	***-33,71***
* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.					

Die Quellgruppen Bau, Gewerbe und sonstige Haushaltstätigkeiten (Zigarettenrauch, Feuerwerk, Grillen) mit PM_{10}-Emissionsanteilen von 13 % (2000) bis 17 % (2020) basieren im Referenzszenario komplett auf den entsprechenden Schätzungen von des RAINS-Modells[30] und können nicht mit eigenen, auf die nationalen Gegebenheiten angepassten Schätzungen des UBA validiert werden.

Der Grad der Übereinstimmung bei den PM_{10}-Emissionen zwischen dem hier vorgelegten Referenzszenario und dem Referenzszenario (CLE) der Thematischen Strategie[31] der Europäi-

[30] http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/; vgl. auch IIASA 2002

[31] Die Datenbasis des Referenzszenarios der Thematischen Strategie ist das RAINS-Szenario „CP_CLE_Aug04(Nov04)“

schen Kommission von 2005 verschlechtert sich leicht auf der Zeitschiene: Für 2000 kommt dieses Referenzszenario noch auf 87 % der in RAINS[31] bilanzierten Emissionen, bis 2020 reduziert sich dieser Anteil auf 82 %. Eine Analyse dieser Abweichungen zu RAINS ist aufgrund von verschiednen Systematiken in der Bilanzierung recht aufwändig und war nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens.

5.3 Referenzemissionsszenario für Gesamtstaub

Die Referenzentwicklung der Gesamtstaub-Emissionen von 2000 bis 2020 ist in unterschiedlichen Aggregationen in Tabelle 9 (Seite 38) und in Tabelle 10 (Seiten 40f.) dargestellt. Bei der Interpretation der Daten sollte beachtet werden, dass es sich bei den Emissionsdaten sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft um Modellergebnisse handelt, die nicht unbeträchtlichen Unsicherheiten unterliegen (vgl. auch Kapitel 8).

Die wesentlichen emissionsverursachenden Quellgruppen sind danach für Gesamtstaub im Jahr 2000

- der Schüttgutumschlag (19 %),
- der Straßenverkehr (18 %, jeweils zur Hälfte aus Auspuffemissionen und aus Abriebemissionen),
- die Eisen- und Stahl-Industrie (14 %),
- Gewerbebetriebe (11 %),
- Kleinfeuerungsanlagen (9 %, im wesentlichen Holzfeuerungen),
- die Landwirtschaft (6 %, im wesentlichen Tierhaltung),
- die Bauwirtschaft (5 %),
- Großfeuerungsanlagen & TA Luft-Feuerungen (5 %) und
- mobile Maschinen (5 %),

Die übrigen 10 % verteilen sich in 2000 auf weitere Quellgruppen wie Mineralstoffindustrie, Zigarettenrauch und andere. Die Gesamtstaub-Emissionen sind somit deutlich breiter auf verschiedene Quellgruppen verteilt als die $PM_{2,5}$-Emissionen.

Im zeitlichen Verlauf bis 2020 werden die Gesamtstaub-Emissionen im Referenzszenario von 324 kt Gesamtstaub (2000) um 88 kt auf 236 kt Gesamtstaub (2020) reduziert, das entspricht einer Minderungsrate von 27 %. Die größten Beiträge zu diesen Minderungen liefern

- der Straßenverkehr (bei Auspuffemissionen 24 kt Gesamtstaub-Reduktion - der Abrieb steigt um 6 kt Gesamtstaub),
- der Schüttgutumschlag (16 kt Gesamtstaub-Reduktion),
- die Eisen- und Stahl-Industrie (13 kt Gesamtstaub-Reduktion),
- die mobilen Maschinen (11 kt Gesamtstaub-Reduktion),
- die Kleinfeuerungsanlagen (11 kt Gesamtstaub-Reduktion) und
- Gewerbebetriebe (9 kt Gesamtstaub-Reduktion).

Leichte Gesamtstaub-Emissionsminderungen sind bei der Mineralstoffindustrie und bei Großfeuerungsanlagen zu verzeichnen. Alle anderen Quellgruppen (emissionsrelevant sind dabei neben den Abriebemissionen des Verkehrs, die im Zeitverlauf ja sogar steigen, v.a. Landwirtschaft, Bauwirtschaft und Haushaltstätigkeiten) bleiben annähernd konstant; dies ist allerdings auch darin begründet, dass über diese Quellgruppen meist sehr wenige Informationen vorliegen und deshalb mit zeitlich konstanten (Default-) Emissionsfaktoren gerechnet werden musste.

Beim Straßenverkehr ist auffällig, dass die modellierten Gesamtstaub-Emissionen des Abriebs (Straße, Bremse und Reifen) 2000 etwa genau so hoch sind wie die Auspuffemissionen und diese in den Folgejahren deutlich übersteigen (Tabelle 10). Dies liegt daran, dass einerseits

die Abriebemissionen parallel zu den Fahrleistungen im Zeitverlauf leicht steigen aber andererseits die Auspuffemissionen durch stark verbesserte Motor- und Reinigungstechniken trotz höherer Fahrleistungen stark sinken. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass für den Abrieb die Wissensbasis noch sehr beschränkt ist und das Umweltbundesamt noch keine eigenen Emissionsfaktoren für den Abrieb ermittelt hat. Deshalb wurden die zeitlich konstanten Default-EF des CORINAIR-Guidebook genutzt.

Tabelle 9: Referenzszenario für Gesamtstaubemissionen (NFR)

Gesamtstaub - Emissionen in Deutschland [kt]						
NFR	**Quellgruppe**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
1 A	**Verbrennung von Brennstoffen**	**89,99**	**77,46**	**53,90**	**44,57**	**40,17**
1 A 1	Energieindustrie	13,06	13,06	10,84	10,54	11,10
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	2,36	2,18	2,24	2,06	2,05
1 A 3	Transport	36,58	26,14	15,30	9,58	7,43
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	37,69	35,81	25,26	22,13	19,34
1 A 5	Andere: Militär	0,29	0,27	0,26	0,26	0,26
1 B	**Flüchtige Brennstoffemissionen**	**2,75**	**2,45**	**1,82**	**1,65**	**1,55**
1 B 1	Feste Brennstoffe	2,75	2,45	1,82	1,65	1,55
2	**Industrieprozesse**	**75,84**	**71,14**	**62,54**	**60,91**	**59,17**
2 A	Mineralstoffindustrie	25,68	23,53	22,87	23,36	23,74
2 B	Chemische Industrie	0,72	0,65	0,63	0,63	0,63
2 C	Metallproduktion	46,85	44,42	36,66	34,53	32,40
2 D	Andere Industrieprozesse	2,59	2,54	2,38	2,39	2,40
4	**Landwirtschaft (PM_{10})***	**20,36**	**20,52**	**19,86**	**19,86**	**19,86**
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management) (PM_{10})*	19,18	19,33	18,67	18,67	18,67
4 D	Bewirtschaftung von Ackerland (PM_{10})*	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19
6	**Abfallwirtschaft**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7	**Sonstiges**	**135,38**	**123,54**	**113,72**	**114,85**	**115,75**
7 A	Schüttgutumschlag	61,41	48,35	45,81	45,81	45,81
7 B	Straßenverkehr - Abrieb	29,49	30,74	32,47	33,88	35,06
7 C	Sonstiges	44,48	44,45	35,44	35,16	34,88
	Summe	**324,33**	**295,12**	**251,84**	**241,85**	**236,51**
	Thematische Strategie Baseline (CLE)	**474,45**	**440,72**	**411,56**	**402,00**	**408,63**
	Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	**-150,12**	**-145,60**	**-159,72**	**-160,15**	**-172,12**

* Für die Landwirtschaft wurden keine Gesamtstaub-Emissionen berechnet, deshalb werden hier die PM_{10}-Emissionen aufgeführt.

Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen zudem eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

Als Folge dieser Entwicklungen sieht im Emissionsmodell für 2020 die Struktur der größten Quellgruppen für Gesamtstaub wie folgt aus:

- Schüttgutumschlag (19 %)
- Straßenverkehr (17 %, davon nur 13 % (d.h.3 %-Punkte) aus Auspuffemissionen, dafür aber 87 % aus Abriebemissionen)
- Eisen- und Stahl-Industrie (13 %)
- Gewerbebetriebe (10 %)
- Landwirtschaft (8 %, im wesentlichen Tierhaltung)
- Bauindustrie (7 %)
- Kleinfeuerungsanlagen (7 %, im wesentlichen Holzfeuerungen)
- Großfeuerungsanlagen & TA Luft-Feuerungen (6 %)

Die übrigen 12 % verteilen sich in 2020 in gegenüber 2000 veränderter Reihenfolge auf die Quellgruppen Mineralstoffindustrie, Zigarettenrauch und weitere mehr.

Die Quellgruppen Bau, Gewerbe und sonstige Haushaltstätigkeiten (Zigarettenrauch, Feuerwerk, Grillen) mit Gesamtstaub-Emissionsanteilen von ca. 20 % basieren im Referenzszenario komplett auf den entsprechenden Schätzungen von des RAINS-Modells[32] und können nicht mit eigenen, auf die nationalen Gegebenheiten angepassten Schätzungen des UBA validiert werden.

Der Grad der Übereinstimmung bei den Gesamtstaub-Emissionen zwischen dem hier vorgelegten Referenzszenario und dem Referenzszenario (CLE) der Thematischen Strategie[33] der Europäischen Kommission von 2005 verschlechtert sich leicht auf der Zeitschiene: Für 2000 kommt dieses Referenzszenario noch auf 68 % der in RAINS[33] bilanzierten Emissionen, bis 2020 reduziert sich dieser Anteil auf 58 %. Damit ist die Übereinstimmung mit RAINS für Gesamtstaub deutlich schlechter als bei $PM_{2,5}$ und PM_{10}. Eine Analyse dieser Abweichungen zu RAINS ist aufgrund von verschiednen Systematiken in der Bilanzierung recht aufwändig und war nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens. Eine Überblicksbetrachtung zeigt aber, dass z.B. die Gesamtstaub-Emissionen des Abriebs im Straßenverkehrs bei RAINS massiv über den für dieses Referenzszenario modellierten liegen.

[32] http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/; vgl. auch IIASA 2002

[33] Die Datenbasis des Referenzszenarios der Thematischen Strategie ist das RAINS-Szenario „CP_CLE_Aug04(Nov04)“

Tabelle 10: Referenzszenario für Gesamtstaubemissionen (technologisch)

Referenzszenario: Gesamtstaub - Emissionen in Deutschland [kt]					
Quellgruppe	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
stationäre Feuerungen	**43,21**	**42,63**	**31,80**	**31,80**	**31,80**
GFA, TA Luft NFR 1A1, 1A2, 1A3 (ohne PF)	***15,23***	***15,01***	***12,95***	***12,95***	***12,95***
Motoren NFR 1A1, 1A2	***0,02***	***0,03***	***0,02***	***0,02***	***0,02***
Haushalte / Kleinverbrauch / Kleinfeuerung	***27,93***	***27,56***	***18,79***	***18,79***	***18,79***
Müllverbrennung	***0,03***	***0,03***	***0,03***	***0,03***	***0,03***
Verkehr / mobile Quellen	**76,13**	**65,41**	**54,50**	**54,50**	**54,50**
Straßenverkehr gesamt	***58,87***	***52,16***	***44,21***	***44,21***	***44,21***
Σ Auspuff Straßenverkehr	*29,38*	*21,41*	*11,74*	*11,74*	*11,74*
Σ Abrieb Straßenverkehr	*29,49*	*30,74*	*32,47*	*32,47*	*32,47*
Personenkraftwagen (PKW)	***27,07***	***27,18***	***24,21***	***24,21***	***24,21***
Auspuff PKW	*8,30*	*7,77*	*3,80*	*3,80*	*3,80*
Σ Abrieb PKW	*18,77*	*19,41*	*20,42*	*20,42*	*20,42*
leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	***4,99***	***4,80***	***3,81***	***3,81***	***3,81***
Auspuff LNF	*3,64*	*3,20*	*2,11*	*2,11*	*2,11*
Σ Abrieb LNF	*1,35*	*1,59*	*1,70*	*1,70*	*1,70*
schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	***23,94***	***18,39***	***14,76***	***14,76***	***14,76***
Auspuff SNF	*15,42*	*9,51*	*5,30*	*5,30*	*5,30*
Σ Abrieb SNF	*8,52*	*8,87*	*9,45*	*9,45*	*9,45*
Busse (BUS)	***2,66***	***1,56***	***1,16***	***1,16***	***1,16***
Auspuff BUS	*2,02*	*0,93*	*0,53*	*0,53*	*0,53*
Σ Abrieb BUS	*0,64*	*0,63*	*0,63*	*0,63*	*0,63*
Motorisierte Zweiräder (nur Abrieb)	***0,22***	***0,24***	***0,27***	***0,27***	***0,27***
Flugverkehr	***0,72***	***0,75***	***0,91***	***0,91***	***0,91***
Bahn / Schiff	***1,73***	***1,05***	***0,91***	***0,91***	***0,91***
übriger Verkehr / mobile Maschinen / Militär	***14,81***	***11,45***	***8,47***	***8,47***	***8,47***
Bauwirtschaft	***4,74***	***2,91***	***1,73***	***1,73***	***1,73***
Landwirtschaft / Forstwirtschaft	***9,81***	***8,28***	***6,48***	***6,48***	***6,48***
Militär	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***
Brennstoffaufbereitung	**2,88**	**2,62**	**1,88**	**1,88**	**1,88**
Kohleaufbereitung	***1,38***	***1,18***	***1,15***	***1,15***	***1,15***
SK-Kokerei	***1,50***	***1,44***	***0,74***	***0,74***	***0,74***
Mineralstoffindustrien	**9,54**	**7,52**	**7,05**	**7,05**	**7,05**
Zement / Klinker	***2,72***	***2,26***	***2,63***	***2,63***	***2,63***
Kalk	***0,37***	***0,19***	***0,17***	***0,17***	***0,17***
Grobkeramik	***3,89***	***2,57***	***1,69***	***1,69***	***1,69***
Bitumen	***0,39***	***0,33***	***0,35***	***0,35***	***0,35***
Glas	***0,54***	***0,50***	***0,54***	***0,54***	***0,54***
Salz	***1,62***	***1,68***	***1,67***	***1,67***	***1,67***
Chemieindustrie	**0,72**	**0,65**	**0,63**	**0,63**	**0,63**
anorganische Chemie	***0,72***	***0,65***	***0,63***	***0,63***	***0,63***

Fortsetzung nächste Seite ...

Referenzszenario: Gesamtstaub - Emissionen in Deutschland [kt]					
Quellgruppe	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
... Fortsetzung von der vorigen Seite					
Eisen & Stahl	**44,32**	**41,84**	**34,50**	**32,89**	**31,27**
Hochofen	***23,13***	***21,64***	***19,67***	***18,56***	***17,44***
Sinter	***13,00***	***12,76***	***8,29***	***7,82***	***7,35***
Oxy-Stahl	***4,96***	***4,63***	***3,58***	***3,38***	***3,18***
E-Stahl	***2,48***	***2,05***	***2,20***	***2,38***	***2,55***
Walzstahl	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
EST-Guss	***0,75***	***0,75***	***0,75***	***0,75***	***0,75***
Ferrolegierungen	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Nichteisen-Metalle	**2,53**	**2,58**	**2,16**	**1,64**	**1,13**
NE-Schwermetalle	***0,15***	***0,13***	***0,14***	***0,14***	***0,14***
Aluminium	***2,19***	***2,26***	***1,82***	***1,31***	***0,80***
Feuerverzinken	***0,19***	***0,19***	***0,19***	***0,19***	***0,19***
sonstige Industrien	**2,59**	**2,54**	**2,38**	**2,39**	**2,40**
Zellstoff	***0,01***	***0,02***	***0,02***	***0,02***	***0,02***
Spanplatten	***1,89***	***1,79***	***1,64***	***1,64***	***1,64***
Zuckerproduktion	***0,69***	***0,73***	***0,72***	***0,73***	***0,73***
Landwirtschaft (PM_{10})*	**20,36**	**20,52**	**19,86**	**19,86**	**19,86**
Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management) (PM_{10})*	***19,18***	***19,33***	***18,67***	***18,67***	***18,67***
Bewirtschaftung von Ackerland (PM_{10})*	***1,18***	***1,19***	***1,19***	***1,19***	***1,19***
Abfallwirtschaft	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
Krematorien	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***	***0,01***
sonstiges	**122,03**	**108,81**	**97,06**	**97,34**	**97,51**
Schüttgutumschlag	***61,41***	***48,35***	***45,81***	***45,81***	***45,81***
Bau	***16,14***	***16,01***	***15,81***	***16,37***	***16,82***
Gewerbebetriebe	***34,07***	***34,05***	***25,06***	***24,86***	***24,66***
Feuerwerk	***2,88***	***2,88***	***2,87***	***2,85***	***2,83***
Grillen	***1,36***	***1,36***	***1,35***	***1,34***	***1,33***
Zigarettenrauch	***6,17***	***6,17***	***6,16***	***6,11***	***6,06***
Summe	**324,33**	**295,12**	**251,84**	**241,85**	**236,51**
Thematische Strategie Baseline (CLE)	**474,45**	**440,72**	**411,56**	**402,00**	**408,63**
Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	***-150,12***	***-145,60***	***-159,72***	***-160,15***	***-172,12***

* Für die Landwirtschaft wurden keine Gesamtstaub-Emissionen berechnet, deshalb werden hier die PM_{10}-Emissionen aufgeführt. Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen zudem eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

5.4 Unterschiede in der Entwicklung der Staubfraktionen

Bezüglich der am stärksten zu den Emissionen beitragenden Quellgruppen gibt es deutliche Unterschiede einerseits zwischen den Staubfraktionen und andererseits im Zeitverlauf. Insbesondere bei Gesamtstaub ist die Emissionsfracht sehr breit über viele Quellgruppen gestreut, während bei $PM_{2,5}$ die Quellgruppen mit geringen Feinstaubanteilen an der Gesamtemission herausfallen und somit die Emissionen stärker auf eine beschränkte Anzahl von Quellgruppen konzentriert sind. Dies sind für das Jahr 2000 bei $PM_{2,5}$ Straßenverkehr, Holzfeuerungen, mobile Maschinen, Großfeuerungsanlagen und die Eisen- und Stahl-Industrie.

Der Rückgang der Emissionen zwischen 2000 und 2020 im Referenzszenario findet vor allem in Quellgruppen mit hohen $PM_{2,5}$-Anteilen an den Gesamtstaubemissionen statt. Deshalb variiert der Rückgang stark zwischen den Staubfraktionen und beträgt bei $PM_{2,5}$ 40 %, bei PM_{10} 31 %, bei Gesamtstaub 27 %. Angesichts dessen ändert sich auch das Profil der emissionsverursachenden Quellgruppen im Zeitverlauf bei $PM_{2,5}$ stärker als bei Gesamtstaub. Einen nicht zu vernachlässigenden Anteil insbesondere bei den Feinfraktionen haben dann auch Quellgruppen wie Zigarettenrauch, Feuerwerk und Grillen (2020 insgesamt 13 % bei $PM_{2,5}$).

Bedeutende Beiträge zu den Emissionsreduktionen im Referenzszenario liefern bei allen Staubfraktionen, insbesondere aber bei $PM_{2,5}$, der Straßenverkehr[34], mobile Maschinen und Holzfeuerungen[35]. Für PM_{10} und Gesamtstaub kommen – mit unterschiedlichen Gewichtungen – die Eisen- und Stahl-Industrie und der Schüttgutumschlag mit relevanten Emissionsreduktionen hinzu.

Auch die Übereinstimmung des hier vorgelegten Referenzszenarios mit dem Referenzszenario (CLE) der Thematischen Strategie[36] der Europäischen Kommission von 2005 variiert stark zwischen den Staubfraktionen: Für das Jahr 2000 kommt diese Studie bei $PM_{2,5}$ auf 79 % der in RAINS[28] bilanzierten Emissionen, bei PM_{10} auf 87 % und bei Gesamtstaub sogar nur auf 68 %. Im Zeitverlauf bis 2020 reduzieren sich diese Deckungsgrade noch weiter auf 74 % ($PM_{2,5}$), 82 % (PM_{10}) bzw. 58 % (Gesamtstaub).

[34] Beim Straßenverkehr werden nur die Auspuffemissionen reduziert, die modellierten Abriebemissionen steigen im Zeitverlauf leicht parallel zur steigenden Fahrleistung.

[35] Falls man allerdings die im Maßnahmenszenario verbuchte Korrektur der prognostizierten Holzeinsätze (vgl. Kapitel 6.2.1) mit in das Referenzszenario einrechnet, würden Holzfeuerungen trotz sich verbessernder Verbrennungstechnik im Zeitverlauf des Referenzszenarios leicht steigende Emissionen aufweisen.

[36] Die Datenbasis des Referenzszenarios der Thematischen Strategie ist das RAINS-Szenario „CP_CLE_Aug04(Nov04)“

5.5 Änderungen und Ergänzungen im Staub-Emissionsinventar des Umweltbundesamtes

Ausgangsbasis der inventarbezogenen Arbeiten dieses Forschungsvorhabens war die UBA-Emissionsdatenbank ZSE mit dem Datenstand vom 16.11.2005, der auch die Grundlage für die Berichterstattungsrunde 2006 war. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die wesentlichen Änderungen, die in enger Abstimmung mit den UBA-Fachverantwortlichen vorgenommen wurden. Die neuen und überarbeiteten Daten des Referenzszenarios, wie sie in Tabelle 5 bis Tabelle 10 aggregiert sind, sind inzwischen mit Ausnahme der Aktivitätsraten 2005[37] im ZSE mit dem Datenstand vom 29.11.2006 enthalten und bilden somit auch die Grundlage für die Berichterstattungsrunde 2007.

Tabelle 11: Änderungen und Ergänzungen im Staub-Emissionsinventar

NFR	Quellgruppe	Änderung
1A	Großfeuerungsanlagen, TA Luft-Anlagen,	Teilw. Überarbeitung EF für Kohle- und Ölfeuerungen 1995 – 2010, alle EF neu 2015 –2020; Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
1A	Kleinfeuerungsanlagen	Überarbeitung EF Brennholz 2000 – 2020 und EF HEL 1995 – 2020; Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
1A	Müllverbrennung	Überarbeitung EF 1996 – 2020, Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
1A	mobile Maschinen	Übernahme von AR und EF 2000 – 2020 aus TREMOD MM
1B	Brennstoffaufbereitung	Überarbeitung der EF Gesamtstaub und der Splitfaktoren 1995 – 2020, teilw. Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
2A	Mineralstoffindustrien	Teilw. Überarbeitung der EF Gesamtstaub und der Splitfaktoren 1995 – 2020, Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
2A	Bauwirtschaft	Neu eingeführte Quellgruppe 2000 – 2020 auf Basis von RAINS-Daten
2B	anorganische Chemie	Überarbeitung der EF Gesamtstaub und der Splitfaktoren 1995 - 2020
2C	Eisen & Stahl	Teilw. Überarbeitung der EF Gesamtstaub 2010 – 2020, Splitfaktoren 1995 – 2020, Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
2C	Nichteisen-Metalle	Teilw. Überarbeitung der EF 2010 – 2020, teilw. Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
2D	Zuckerproduktion	Überarbeitung AR 2010, neue AR 2015-2020
4	Landwirtschaft	Übernahme der neuberechneten EM 2000 – 2010 aus dem Modell GAS-EM der FAL
6	Krematorien	Überarbeitung der EF 1996-2020, neue AR 2010 - 2020
7	Schüttgutumschlag	Überarbeitung der EF 1998 - 2010
7	Gewerbebetriebe	Neu eingeführte Quellgruppe 2000 – 2020 auf Basis von RAINS-Daten

[37] Die in diesem Bericht enthaltenen Aktivitätsraten für 2005 stellen nur eine provisorische Hochrechnung dar (vgl. Kapitel 5). Deshalb wurde auf die Übernahme der AR 2005 dieses Berichtes in das ZSE verzichtet.

6 Zusätzliche Maßnahmen

In enger Zusammenarbeit mit den Fachverantwortlichen des Umweltbundesamtes wurde eruiert, welche über das Referenzszenario hinausgehenden zusätzlichen Maßnahmen zur Emissionsminderung zur Verfügung stehen. Im Folgenden werden Emissionsminderungsmaßnahmen für Großfeuerungsanlagen (Kohlefeuerungen), für Kleinfeuerungsanlagen (Holz und Heizöl EL), für den Straßenverkehr und für den sonstigen Verkehr sowie mobile Maschinen beschrieben. Für alle anderen Quellgruppen sahen die UBA-Fachverantwortlichen keine realistischen weiteren technischen Minderungsmaßnahmen im Zeitrahmen bis 2020.

6.1 Großfeuerungsanlagen

Eine weitere Verminderung der Staubemissionen bei Großfeuerungsanlagen (GFA) mit Kohlefeuerungen ist durch Ertüchtigungen bzw. Erweiterungen der bestehenden Filteranlagen möglich, umsetzbar durch eine Verschärfung des Emissionsgrenzwerts von 20 mg/m^3 auf 10 mg/m^3 (Tagesmittel) ab 2015. Zur sicheren Einhaltung des Grenzwertes würde sich dann in etwa ein Jahresmittel von 5 mg/m^3 einstellen. Eine Reihe von Anlagen liegt allerdings bereits im Referenzszenario unter diesen Werten. Ein zusätzliches Emissionsreduktionspotenzial liegt also in diesen Fällen nicht vor.

Als zusätzliche Emissionsminderung ergäbe sich für 2020 aus der beschriebenen Grenzwertverschärfung eine Emissionsminderung von 4,5 kt Gesamtstaub, 4,0 kt PM_{10} bzw. 3,6 kt $PM_{2,5}$. Dies entspräche einer Minderung der GFA-Emissionen des Referenzszenarios um ca. 40 %.

6.2 Kleinfeuerungsanlagen

6.2.1 Holzfeuerungen in Haushalten

Hinsichtlich des Maßnahmenszenarios wird davon ausgegangen, dass die Verwendung von Holz als Energieträger in Haushalten zunehmen wird. Das Energiereferenzszenario geht hingegen von konstanten Mengen aus und wäre anzupassen. Gründe für diese Revidierung sind zum einen die fortschreitende Preisentwicklung bei den fossilen Energieträgern und zum anderen die technische Entwicklung von benutzerfreundlichen Heizkesseln für Holz und die Förderung der Biomassenkonversion durch das Marktanreizprogramm (MAP). Diese Entwicklungen sind teilweise extern getrieben, wie die Preisentwicklung bei den fossilen Energieträgern, teilweise sind sie auch schon bereits begonnen worden, wie die Förderung der Biomassenkonversion durch das MAP. Die Korrektur der AR-Prognosen für Holz in Haushalten wäre deshalb inhaltlich eigentlich dem Referenzszenario zuzuordnen und würde damit das Energiereferenzszenario korrigieren. Da aber das Energiereferenzszenario, wie es vom Umweltbundesamt bereits veröffentlich ist, aus Konsistenzgründen zur Emissionsprognose für die NEC-Schadstoffe (SO_2, NO_x, NMVOC und NH_3) unangetastet bleiben soll, wird diese Korrektur in diesem Bericht dem Maßnahmenszenario zugeordnet. Der Effekt der Erhöhung der Aktivitätsraten von Holz führt zu einer Erhöhung der Emissionen von allen Staubfraktionen gegenüber dem Referenzszenario.

Gleichzeitig wird im Sinne einer „echten“ zusätzlichen Maßnahme davon ausgegangen, dass eine Novellierung der 1.BImSchV mit einer Senkung der Staubgrenzwerte sowie einer Senkung der Leistungsgrenze für den Geltungsrahmen dieser Grenzwerte erfolgen wird. Dadurch wird es zu wirksamen Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemissionen bei kleinen Holzfeuerungsanlagen kommen.

Insgesamt kommt es im Maßnahmenszenario also gegenüber dem Referenzszenario zu gegenläufigen Tendenzen: Während die Nutzung von fester Biomasse zunimmt und zu einer Erhö-

hung der Staubemission führt, werden neue Grenzwerte und Leistungsgrenzen zu einer Senkung der Staubemissionen beitragen. Im Maßnahmenszenario werden diese gegenläufigen Effekte quantitativ einerseits abgebildet durch eine Steigerung der Aktivitätsraten von Holz in Haushalten, so dass 2020 knapp 15 % des Brennstoffeinsatzes in Haushalten durch Holz abgedeckt ist (Referenzszenario: 10 % in 2020; 9 % in 2000). Andererseits sinkt im Maßnahmenszenario der EF für Staubemissionen aus Holzverbrennung in Haushalten von 2000 bis 2020 um 40 % (im Referenzszenario: Minderung des EF von 2000 bis 2020 um 15 %).

Bezogen auf das Jahr 2020 ergibt sich im Maßnahmenszenario im Vergleich zum Referenzszenario eine Erhöhung der Emissionen in Höhe von 5,1 kt Gesamtstaub, 5,0 kt PM_{10} bzw. 4,6 kt $PM_{2,5}$. Dieser ungewöhnliche Umstand einer Erhöhung der Emissionen in einem Maßnahmenszenario ist darauf zurückzuführen, dass der emissionsmindernde Effekt aufgrund sinkender Emissionsfaktoren überkompensiert wird durch den emissionserhöhenden Effekt steigender Aktivitätsraten der Holzverbrennung.

6.2.2 Kleinfeuerungsanlagen - Förderung schwefelarmen Heizöls

Die Einführung und die Marktdurchdringung von „Heizöl EL schwefelarm“ (< 50 ppm Schwefel) sowie der sinkende Schwefelgehalts bei HEL aufgrund von Grenzwertverschärfungen im Rahmen der 3. BImSchV (Verordnung über den Schwefelgehalt flüssiger Kraft- und Brennstoffe) beeinflussen schon im Referenzszenario auch die Emission von Staub. Im parallel laufenden Forschungsvorhaben *„Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC-Richtlinie“ (FKZ 205 42 221)* wurde eine zusätzliche Förderung des schwefelarmen Heizöls als eine mögliche Maßnahme zur weiteren Reduktion der SO_2-Emissionen identifiziert. Konkret wird eine Verdopplung des Marktanteils modelliert, d.h. statt 25 % Marktanteil von schwefelarmen Heizöl am gesamten Einsatz von leichtem Heizöl im Jahre 2020 (Referenzszenario) geht das Maßnahmenszenario von 50 % Marktanteil in 2020 aus. Seit Mitte 2005 wird Heizöl EL schwefelarm für alle Ölheizkessel und Ölbrenner von den Herstellern als geeignet eingestuft, so dass für den Einsatz keine technischen Grenzen vorhanden sind.

Diese Modellierung wurde im Maßnahmenszenario bei der Quantifizierung des emissionsmindernden Nebeneffektes für Staub ebenfalls zugrundegelegt: Die Annahme der Verdopplung des Marktanteils von schwefelarmem Heizöl liefert für 2020 ein Minderungspotenzial von 0,2 kt Gesamtstaub, dies entspricht 0,2 kt PM_{10} und 0,2 kt $PM_{2,5}$, da die Partikelemission aus Ölbrennern in Haushalten zu 100 % als $PM_{2,5}$ interpretiert werden.

6.3 Straßenverkehr

Die partikelförmigen **Abgas**emissionen des Verkehrs werden zu 100 % als $PM_{2,5}$ eingestuft. Deshalb sind die Minderungspotenziale für PM_{10} und Gesamtstaub identisch mit denen für $PM_{2,5}$ und werden in den folgenden Abschnitten nicht mehr getrennt aufgeführt. Lediglich bei den **Abrieb**emissionen muss zwischen den verschiedenen Staubfraktionen differenziert werden.

6.3.1 Einführung einer Grenzwertstufe EURO VI für schwere Nutzfahrzeuge

Durch die Einführung einer europaweiten Grenzwertstufe Euro VI für Schwere Nutzfahrzeuge (Lkw, Busse, übrige Kfz >3,5t) sollen neben anderen Schadstoffen auch die spezifischen Partikel-Abgasemissionen reduziert werden. Der Partikel-Grenzwert soll gegenüber Euro V um 80% auf 0,005 g/kWh reduziert werden.

Bei einem Inkrafttreten von Euro VI ab 2011/2012 und dem Marktzugang von Fahrzeugen dieser Grenzwertstufe schon ab 2010 könnten die Partikel-Abgasemissionen von schweren Nutzfahrzeugen bereits im Jahr 2010 um 0,06 kt $PM_{2,5}$ gegenüber dem Referenzszenario reduziert werden. Bis 2020 erhöht sich das Minderungspotenzial auf 1,76 kt $PM_{2,5}$.

6.3.2 Förderprogramm zur Nachrüstung von Lkw mit Partikelfiltern

Nach dem Referenzszenario verursachen Lkw der Grenzwertstufen Euro II und Euro III im Jahr 2010 ca. 60% der Partikel-Abgasemissionen im gesamten Lkw-Verkehr. Durch eine Nachrüstung dieser Lkw mit Partikelfiltern könnten die Partikelemissionen deutlich reduziert werden.

Bisher gibt es allerdings keine Anreize für Lkw-Besitzer, ihre Fahrzeuge mit einem Partikelfilter nachzurüsten. Um eine Nachrüstung von Lkw in nennenswertem Umfang zu erreichen, müsste daher ein Förderprogramm initiiert werden, welches Anreize für Speditionen und andere Lkw-Halter zu einer Nachrüstung ihrer Lkw-Flotten schafft.

Wenn im Jahr 2010 10% aller Lkw Euro II + III mit einem Partikelfilter nachgerüstet sind, könnte das eine Minderung der Partikel-Abgasemissionen von 0,18 kt $PM_{2,5}$ bringen. Bis 2020 verringert sich dieses über das Referenzszenario hinausgehende zusätzliche Minderungspotenzial auf 0,01 kt $PM_{2,5}$.

6.3.3 Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen

Seit dem Jahr 2005 wird auf deutschen Autobahnen eine Straßenbenutzungsgebühr (Maut) für Lkw >12t zulässiges Gesamtgewicht erhoben. Die Höhe der Mautgebühr variiert zwischen 9 und 14 ct/km; die Spreizung beträgt damit zwischen niedrigstem und höchstem Mautsatz ca. 50%. Sie richtet sich nach der Achs-Zahl und der Grenzwertstufe.

Aufgrund der bestehenden Mautregelung erreichen seit Oktober 2006 nur noch Lkw die niedrigste Gebührenklasse, welche die Grenzwerte Euro V erfüllen oder als besonders umweltfreundlich (EEV 1) eingestuft sind. Für Lkw nach Euro IV, die bisher ebenfalls in der niedrigsten Gebührenklasse waren, hat sich die Gebühr um 2 ct/km erhöht. Damit fördert die bestehende Lkw-Maut den Kauf von emissionsärmeren Fahrzeugen. Es wird erwartet, dass schon im Jahr 2006 ein großer Anteil der neuen Lkw vorzeitig die Grenzwertstufe Euro V erfüllt. Auf die Partikelemissionen hat eine vorzeitige Erfüllung von Euro V allerdings keine Auswirkungen, da die Partikel-Grenzwerte bei Euro IV und Euro V identisch sind.

Im Mai 2006 wurde von der EU eine Novellierung der EU-Wegekostenrichtlinie (2006/38/EG) verabschiedet. Auf dieser Grundlage sind auch Anpassungen der nationalen Mautregelungen möglich. Ab dem Jahr 2008 soll die Spreizung der Gebühren zwischen niedrigstem und höchstem Mautsatz erhöht werden. Durch diese stärkere Gebührendifferenzierung verringern sich die Kosten für Lkw mit strengen Emissionsstandards, steigen für ältere Lkw jedoch an. Durch die Mautanpassung kann eine weitere Beschleunigung der Markteinführung von Fahrzeugen neuer Grenzwertstufen erreicht werden. Bei einem rechzeitigen Inkrafttreten einer Grenzwertstufe Euro VI sind damit entsprechende Minderungen der Partikel-Abgasemissionen verbunden.

Als weitere Folge der Mautanpassung wird ein schnelleres Ausscheiden älterer Lkw aus dem Bestand erwartet. Fahrleistungen, die ohne Mautanpassung durch alte, hochemittierende Lkw erbracht würden, werden stattdessen von neuen Lkw erbracht; die Lkw-Gesamtfahrleistungen bleiben konstant. Die Höhe der damit verbundenen Emissionsminderung ist auch hier von der Einführung der Grenzwertstufe Euro VI abhängig.

Auf Grundlage eines von der EU-Kommission bis Ende 2008 vorzulegenden Vorschlags zur Berechnung der externen Kosten sollen nach 2010 auch externe Kosten bei der Kalkulation

der Mautgebühren berücksichtigt und diese bis 2015 stufenweise auf 25 ct/km angehoben werden. Als Folge wird vor allem mit einer generellen Steigerung der Transporteffizienz im Straßengüterverkehr sowie in gewissem Umfang mit einer Verlagerung auf andere Verkehrsträger gerechnet. Das führt zu einer Abnahme der Fahrleistungen im Straßengüterverkehr und damit zur Reduktion der Partikelemissionen.

Durch die Lkw-Maut kann im Jahr 2010 eine Minderung der Partikel-**Abgas**emissionen um 0,20 kt $PM_{2,5}$ erreicht werden, wenn rechtzeitig die geplante Grenzwertstufe Euro VI in Kraft tritt. Bis 2020 geht dieses über das Referenzszenario hinausgehende zusätzliche Minderungspotenzial auf 0,07 kt $PM_{2,5}$ zurück. Ohne Einführung von Euro VI beträgt das Minderungspotenzial bei den Abgasemissionen im Jahr 2010 0,18 kt $PM_{2,5}$ und im Jahr 2020 0,14 kt $PM_{2,5}$. Auch eine mögliche Nachrüstung von Lkw mit Partikelfiltern hat Einfluss auf die Minderungspotenziale durch die Lkw-Maut. Dem wurde mithilfe der Berechnung von kombinierten Maßnahmenpotenzialen der Maßnahmen Rechnung getragen (vgl. Kapitel 6.3.7 (Seite 48) und Tabelle 12 in Kapitel 7.1 (Seite 53)).

Die Minderungspotenziale bei **Abrieb**emissionen auf Grund der reduzierten Fahrleistungen liegen für 2015 und 2020 bei ca. 0,16 kt $PM_{2,5}$, 0,30 kt PM_{10} bzw. 0,47 kt Gesamtstaub. Sie sind damit größer als die abgasseitigen $PM_{2,5}$-Minderungspotenziale der Maut. Einschränkend muss aber hinzugefügt werden, dass die Emissionsfaktoren für die Berechnung der Abriebemissionen eine große Unsicherheit beinhalten (vgl. Kapitel 8). Die EU-Richtlinie 2005/69/EG zur Veränderung der Reifenmaterialzusammensetzung, die ab dem Jahr 2010 greifen soll, konnte für die Modellierung der Abriebemissionen nicht berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4).

6.3.4 Einführung von Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge

Deutschland strebt die Einführung weiterer Grenzwertstufen für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge an. Mit Einführung der Grenzwertstufe Euro 5 soll der Partikel-Grenzwert für Diesel-Pkw auf 5 mg/km sinken. Ebenso sollen die Partikel-Grenzwerte für Leichte Nutzfahrzeuge gegenüber Euro 4 um 80% reduziert werden.

Ein Großteil der neuen Diesel-Pkw (Euro 4) ist in Deutschland bereits heute serienmäßig mit einem geschlossenen Partikelfilter ausgestattet und erreicht damit die für Euro 5 geplanten Partikel-Grenzwerte. Für die Zukunft wird im Referenzszenario die Ausstattung aller neuen Diesel-Pkw mit Partikelfilter angenommen. Die Einführung einer Grenzwertstufe Euro 5 bringt daher bei Diesel-Pkw keine weitere Minderung der Partikelemissionen.

Anders ist die Situation bei Leichten Nutzfahrzeugen und übrigen Kfz <3,5t (z. B. Wohnmobile). Hier würde die Einführung einer Grenzwertstufe Euro 5 zum serienmäßigen Einsatz von Partikelfiltern und damit zur Verringerung der Partikelemissionen führen.

Im Jahr 2010 ist eine Minderung der Partikel-Emissionen um 0,19 kt $PM_{2,5}$ möglich. Bis zum Jahr 2020 erhöht sich das jährliche Minderungspotenzial auf 1,12 kt $PM_{2,5}$.

6.3.5 Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff

Die steigende Attraktivität von Diesel-Pkw, bedingt durch die technische Entwicklung sowie zusätzlich begünstigt durch eine geringere Mineralölsteuer auf Diesel, hat in den letzten Jahren zu einer starken Zunahme der Fahrleistungen von Diesel-Pkw geführt. Die Bundesregierung strebt daher eine Änderung des Mineralölsteuergesetzes (MinÖStG) an. Die Mineralölsteuer auf Dieselkraftstoff soll stufenweise an den Steuersatz von Ottokraftstoff angeglichen werden.

Mit einer Angleichung der Mineralölsteuer erhöhen sich die Betriebskosten bei Diesel-Pkw und die Kostenattraktivität gegenüber Otto-Pkw verringert sich. Als Folge kann es zu einer Ver-

schiebung der Pkw-Neuzulassungen hin zu Otto-Pkw kommen[38]. Der Anstieg der Preise für Dieselkraftstoff würde zusätzlich zu einer Abnahme der Fahrleistungen von Diesel-Pkw im Privatverkehr führen.

Gegenüber dem Referenzszenario kann die Maßnahme im Jahr 2010 zu einer Minderung der Partikel-Emissionen aus dem **Abgas** um 0,08 kt $PM_{2,5}$ führen. Im Jahr 2020 beträgt das Minderungspotenzial noch 0,06 kt $PM_{2,5}$.

Die Minderungspotenziale bei **Abrieb**emissionen steigen bei $PM_{2,5}$ von 0,06 kt (2010) auf 0,16 kt (2020), bei PM_{10} von 0,12 kt (2010) auf 0,30 kt (2020) und bei Gesamtstaub von 0,19 kt (2010) auf 0,47 kt (2020). Sie sind damit für 2010 etwas niedriger und für 2015 und 2020 größer als die abgasseitigen $PM_{2,5}$-Minderungspotenziale der Steuerangleichung. Einschränkend muss aber hinzugefügt werden, dass die Emissionsfaktoren für die Berechnung der Abriebemissionen eine große Unsicherheit beinhalten (vgl. Kapitel 8). Die EU-Richtlinie 2005/69/EG zur Veränderung der Reifenmaterialzusammensetzung, die ab dem Jahr 2010 greifen soll, konnte für die Modellierung der Abriebemissionen nicht berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4).

6.3.6 Nachrüstung Diesel-Pkw von Pkw mit Partikelfiltern

Nach dem Referenzszenario werden Diesel-Pkw der Grenzwertstufen Euro 2 und Euro 3 im Jahr 2010 einen Anteil an den Pkw-Fahrleistungen von 10% haben, verursachen dabei jedoch ca. 70% der Partikel-Abgasemissionen. Durch eine Nachrüstung mit Partikelfiltern könnten diese Emissionen deutlich reduziert werden. Durch geeignete Förderprogramme können Anreize für die Pkw-Besitzer zur Nachrüstung ihrer Fahrzeuge geschaffen werden.

Wenn bis zum Jahr 2010 10% aller Diesel-Pkw Euro 2 +3 mit einem Partikelfilter nachgerüstet sind, könnte das im Jahr 2010 eine Emissionsminderung von 0,07 kt $PM_{2,5}$ bringen. Bis 2020 verringert sich das Minderungspotenzial auf 0,01 kt $PM_{2,5}$.

6.3.7 Addierbarkeit der Maßnahmenpotenziale im Straßenverkehr

Die Einzelpotenziale verschiedener Maßnahmen sind nur dann direkt zu einem Gesamtpotenzial addierbar, wenn zwischen den Maßnahmen keine Abhängigkeiten bestehen, die zu einer Verstärkung oder Abschwächung der Minderungswirkungen führen.

Die berechneten Einzelpotenziale der Maßnahmen für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge sind direkt addierbar. Dagegen können die berechneten Einzelpotenziale für Abgasemissionen bei Maßnahmen für Schwere Nutzfahrzeuge nicht direkt addiert werden, da das Minderungspotenzial aus einer Änderung der Lkw-Maut sich in Abhängigkeit von der Einführung einer neuen Grenzwertstufe Euro VI sowie der Nachrüstung von Lkw Euro II und III verändert. Jedoch konnten kombinierte Minderungspotenziale für die Einführung dieser Maßnahmen berechnet werden (vgl. Tabelle 12 in Kapitel 7.1 (Seite 53)). Für die Addierbarkeit eines der Einzelpotenziale sowie der kombinierten Minderungspotenziale mit den übrigen Maßnahmenpotenzialen bestehen keine Einschränkungen.

6.4 Sonstiger Verkehr und mobile Maschinen

Die partikelförmigen Abgasemissionen des Verkehrs und der mobilen Maschinen werden zu 100 % als $PM_{2,5}$ eingestuft. Deshalb sind die Minderungspotenziale für PM_{10} und Ge-

[38] Auch moderne Otto-Pkw, v. a. mit Direkteinspritzung, können Partikel-Abgasemissionen haben. Aber die Partikelemissionen der Ottofahrzeuge sind deutlich geringer als bei Dieselfahrzeugen. Aufgrund der unsicheren Emissionsfaktoren und des geringen Anteils an den verkehrlichen Partikelemissionen werden hier nur Abgasemissionen von Diesel-Kfz berücksichtigt.

samtstaub identisch mit denen für $PM_{2,5}$ und werden in den folgenden Abschnitten nicht mehr getrennt aufgeführt.

6.4.1 Fortschreibung der Abgasgesetzgebung für Dieselmotoren >18 kW in Mobilen Maschinen

Für Dieselmotoren >18 kW in mobilen Maschinen (in Bauwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft) soll im Jahr 2018 eine Grenzwertstufe V eingeführt werden. Eine frühere Einführung erscheint nicht realistisch, da erst im Jahr 2015 die Grenzwertstufe IV (nach bestehender EU-Richtlinie 2004/26/EG) in Kraft tritt. Mit einem entsprechend reduzierten Partikelgrenzwert könnte der serienmäßige Einsatz der Partikelfiltertechnik auch bei mobilen Maschinen erreicht werden.

Bei einem Einsatz von geschlossenen Partikelfiltern (Minderungswirkung bis zu 99%) bei 20% der ab 2015 neu verkauften Motoren >18 kW könnten im Jahr 2020 max. 0,01 kt Partikel-Abgasemissionen ($PM_{2,5}$) vermieden werden. Relevante Minderungen der Partikel-Abgasemissionen von Dieselmotoren in mobilen Maschinen sind wegen der langen Lebensdauer der Motoren erst nach 2020 zu erwarten.

6.4.2 Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung in der Binnenschifffahrt

Durch die Verschärfung der bestehenden Grenzwerte in der Binnenschifffahrt sollen die spezifischen Schadstoffemissionen gemindert werden. Die derzeitige Grenzwertgesetzgebung endet bereits im Jahr 2009 mit Einführung der Stufe IIIA. Die dort festgelegten Partikelgrenzwerte werden aufgrund ihrer Höhe schon heute von vielen Binnenschiffen eingehalten.

Ab dem Jahr 2012 soll eine weitere Grenzwertstufe IV eingeführt werden. Der Partikelgrenzwert dieser Grenzwertstufe orientiert sich am Grenzwert Euro IV/V für Lkw und wird auf 0,025 g/kWh festgelegt, das entspricht einer Absenkung gegenüber den Partikel-Grenzwerten der Stufe IIIA um 90-95%.

Aufgrund der nicht-kontinuierlichen Umschichtung der Binnenschifffflotte sind differenziertere Annahmen zur Flottendurchdringung mit der neuen Grenzwertstufe schwierig. Zur Berechnung der Minderungspotenziale wurde die Annahme getroffen, dass im Jahr 2015 5%, im Jahr 2020 20% aller Binnenschiffe die neue Grenzwertstufe einhalten. Damit beträgt das Minderungspotenzial für die Partikelemissionen der Binnenschifffahrt im Jahr 2015 0,03 kt $PM_{2,5}$ und im Jahr 2020 0,12 kt $PM_{2,5}$.

6.4.3 Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven

Die derzeitige Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven endet mit der Einführung der Stufe IIIB im Jahr 2012. Ab dem Jahr 2015 soll eine weitere Grenzwertstufe eingeführt werden. Der Partikel-Grenzwert dieser Grenzwertstufe orientiert sich an dem Vorschlag zur Lkw-Grenzwertstufe Euro VI und wird auf 0,005 g/kWh festgelegt. Damit soll der serienmäßige Einsatz von Partikelfiltern bei neuen Diesellokomotiven erreicht werden.

Durch die lange Nutzungsdauer von Lokomotiven (im Mittel 32 Jahre) kann bis 2020 nur eine begrenzte Umschichtung erreicht werden. Zudem lässt sich das Verhalten der Transportunternehmen nur schwer vorhersagen, da Lokomotiven oft nicht kontinuierlich, sondern eher in ganzen Serien ausgetauscht werden.

Unter der Annahme, dass bis zum Jahr 2020 ein Austausch von 20% des Bestands von Diesellokomotiven gegen Fahrzeuge der neuen Grenzwertstufe IV erfolgt, und die spezifische Emissi-

onsminderung gegenüber dem Flottendurchschnitt 90% beträgt, können die Partikelemissionen gegenüber dem Referenzszenario um 0,04 kt $PM_{2,5}$ reduziert werden.

6.4.4 Differenzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr nach Emissionsstandard

Die Differenzierung von Trassenpreisen nach Emissionsstandards führt zu einer beschleunigten Einführung neuer Technologien und senkt damit die spezifischen Schadstoffemissionen im Schienenverkehr. Durch die lange Nutzungsdauer von Lokomotiven (im Mittel 32 Jahre) wirken sich neue Technologien ansonsten nur mit erheblicher Zeitverzögerung in der Flotte aus.

Die EU Richtlinie 2001/14/EC erlaubt ausdrücklich die nach Umweltgesichtspunkten differenzierte Gebührenerhebung, vorausgesetzt eine vergleichbare Gebühr wird auch für konkurrierende Verkehrsträger erhoben. Dies ist in Deutschland durch die Lkw Maut gegeben. Die neuen EU-Grenzwertstufen IIIA und IIIB sowie die geplante Stufe IV für Diesellokomotiven sind dabei ein geeigneter Ansatzpunkt zur Differenzierung der Gebühren.

Die Minderungswirkung der Maßnahme hängt vom Umfang der damit erreichten Flottenverjüngung und -verbesserung (z.B. durch Remotorisierung) ab. Hier lässt sich das Verhalten der Transportunternehmen kaum vorhersagen, da Lokomotiven oft nicht kontinuierlich, sondern eher in ganzen Serien ausgetauscht werden.

Der zusätzliche Effekt kann daher nur grob geschätzt werden. Für die Niederlande gibt es eine vereinfachte Abschätzung von 2003[39], dass mit dieser Maßnahme, vor allem durch einen Anstieg der Elektrotraktion, die NO_x- und Partikelemissionen aus dem Schienenverkehr bis 2020 gegenüber den Emissionen im Einführungsjahr halbiert werden können. Überträgt man diese Abschätzung auf Deutschland, entspricht das einem Minderungspotenzial im Jahr 2020 von 0,03 kt $PM_{2,5}$ gegenüber der Referenzprognose.

6.4.5 Addierbarkeit der Maßnahmenpotenziale beim sonstigen Verkehr und mobilen Maschinen

Die Einzelpotenziale verschiedener Maßnahmen sind nur dann direkt zu einem Gesamtpotenzial addierbar, wenn zwischen den Maßnahmen keine Abhängigkeiten bestehen, die zu einer Verstärkung oder Abschwächung der Minderungswirkungen führen.

Die berechneten Einzelpotenziale der Maßnahmen in der Binnenschifffahrt sowie für Dieselmotoren in Mobilen Maschinen sind direkt addierbar.

Die Einzelpotenziale der Maßnahmen im Schienenverkehr sind aufgrund der zu erwartenden Wechselwirkungen nicht direkt addierbar:

- Die Einführung emissionsabhängiger Trassenpreise soll die schnellere Einführung neuer Grenzwertstufen fördern. Wegen der diskontinuierlichen Flottenerneuerung und der langen Nutzungsdauer von Lokomotiven kann daher eine vorzeitige bzw. verstärkte Einführung von Stufe IIIA oder IIIB zu einer Verzögerung der Einführung von Lokomotiven einer neuen Grenzwertstufe IV führen.
- Andererseits ist infolge der Einführung emissionsabhängiger Trassenpreise ein Austausch von insgesamt mehr Fahrzeugen denkbar. Dann erhöht sich nicht nur der Anteil der Stufen IIIA und IIIB am Bestand, sondern auch die Einführung von Lokomotiven einer neuen Stufe IV kann zusätzlich intensiviert werden.

[39] CE 2003: Clean on track – Reducing emissions from diesel locomotives. CE, Delft 2003.

Aufgrund der eingeschränkten Datenbasis und den damit notwendigen vereinfachten Annahmen zur Abschätzung der Minderungspotenziale ist die exakte Berechnung eines kombinierten Maßnahmenpotenzials im Schienenverkehr aber nicht möglich.

7 Emissionsszenarien mit zusätzlichen Maßnahmen

In den folgenden Abschnitten werden für die einzelnen Staubfraktionen unter Berücksichtigung der in Kapitel 6 dargestellten Maßnahmen die Emissionsminderungspotenziale zusammengefasst. Aus der Kombination aller diskutierter Maßnahmen wird schließlich pro Staubfraktion ein Maßnahmenszenario zusammengestellt und in seinen Emissionsfrachten mit dem Referenzszenario verglichen.

Im Vergleich zwischen den Staubfraktionen fällt dabei auf, dass die prozentualen Minderungen gegenüber dem Referenzszenario 2020 bei $PM_{2,5}$ mit 3,3 % am höchsten und bei Gesamtstaub mit 1,6 % am niedrigsten ist[40]. Dies hängt damit zusammen, dass die analysierten Maßnahmen v.a. bei Quellgruppen mit einem überdurchschnittlich hohen $PM_{2,5}$-Anteil an den Gesamtstaubemissionen greifen: So liegt dieser $PM_{2,5}$-Anteil bei Kohlefeuerungen der Großfeuerungsanlagen bei 80 %, bei Holzfeuerungen der Kleinfeuerungsanlagen bei 90 % und bei Abgasemissionen von mobilen Quellen bei 100 %. Zum Vergleich: Für das Jahr 2000 liegt der Anteil der $PM_{2,5}$-Emissionen an den Gesamtstaubemissionen im Durchschnitt aller Quellgruppen bei 42 %.

7.1 Maßnahmenszenario für $PM_{2,5}$

Tabelle 12 fasst die in Kapitel 6 hergeleiteten, über das Referenzszenario hinausgehenden zusätzlichen Minderungspotenziale für $PM_{2,5}$ zusammen:

Die größten Minderungspotenziale zur $PM_{2,5}$-Minderung im Zeitrahmen 2020 haben die Maßnahmen zur Senkung der spezifischen Emissionen bei Holzfeuerungen in Haushalten[41] sowie bei Kohlefeuerungen der Großfeuerungsanlagen mit jeweils ca. 4 kt $PM_{2,5}$. Demgegenüber haben die für schwere Nutzfahrzeuge untersuchten Maßnahmen in 2020 nur ein Minderungspotenzial von 2 kt $PM_{2,5}$, bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (LNF) liegt das Minderungspotenzial bei 1,3 kt $PM_{2,5}$, jeweils inklusive der vermiedenen Abriebemissionen. In beiden Fahrzeugklassen liegen die bei weitem höchsten Minderungspotenziale bei der Einführung neuer EURO-Stufen, während Lkw-Maut und die Förderung der Nachrüstung mit Rußfiltern (Lkw und Pkw) 2020 kaum ins Gewicht fallen. Eine Förderung der Rußfilternachrüstung hat ihre stärkste Wirkung im Zeitrahmen 2010, zeigt aber auch dort mit 0,3 kt $PM_{2,5}$ (Summe Lkw und Pkw) im Vergleich z.B. mit Maßnahmen bei Holzfeuerungen (1,5 kt $PM_{2,5}$ in 2010[42]) ein recht begrenztes Potenzial.

Die übrigen untersuchten Maßnahmen fallen quantitativ kaum ins Gewicht.

Da die Korrektur der AR-Prognosen für Holzfeuerung in Haushalten in das Maßnahmenszenario integriert wurde (vgl. Kapitel 6.2.1) ergibt sich für 2010 in der Summe aller Maßnahmen eine Emissionserhöhung gegenüber dem Referenzszenario. Ab 2015, mit dem Greifen von möglichen Maßnahmen bei Großfeuerungsanlagen und im Verkehr, wird dieses paradox erscheinende Ergebnis des Maßnahmenszenarios von einer, wenn auch sehr geringen, aber doch vorhandenen „echten“ Emissionsreduktion gegenüber dem Referenzszenario abgelöst.

---

[40] Rechnet man die Korrektur der Aktivitätsprognose für Holzfeuerungen (vgl. Kapitel 6.2.1) dem Referenzszenario zu, so spreizen die prozentualen Minderungspotenziale 2020 von 16 % ($PM_{2,5}$) bis 7 % (Gesamtstaub).

[41] Das Minderungspotenzial bei den Holzfeuerungen (Novelle 1. BImSchV und Förderung Pelletkessel) von gut 4 kt $PM_{2,5}$ in 2020 ist bezogen auf die Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios. Bezogen auf die korrigierte Aktivitätsrate (vgl. Kapitel 6.2.1) beträgt das Minderungspotenzial sogar knapp 8 kt $PM_{2,5}$.

[42] Das Minderungspotenzial bei den Holzfeuerungen (Novelle 1. BImSchV und Förderung Pelletkessel) von 1,5 kt $PM_{2,5}$ in 2010 ist bezogen auf die Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios. Bezogen auf die korrigierte Aktivitätsrate (vgl. Kapitel 6.2.1) beträgt das Minderungspotenzial 2,2 kt $PM_{2,5}$.

Tabelle 12: Zusammenfassung der zusätzlichen Emissionsminderungspotenziale für $PM_{2,5}$

Zusätzliche Minderungspotenziale* zur Minderung der $PM_{2,5}$-Emissionen [kt]				
Sektor	**Maßnahme**	**2010**	**2015**	**2020**
Großfeuerungsanlagen: Kohlefeuerung	Filterertüchtigung: 10 mg/m³ Tagesmittel	0	-3,35	-3,60
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Korrektur der Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios	7,30	9,90	12,30
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Novelle 1.BImSchV + Förderung Pelletkessel (unkorrigierte AR)	-1,50	-3,00	-4,10
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	**Kombinierte Wirkung:** korrigierte AR und Novelle 1.BImSchV sowie Förderung Pelletkessel	5,10	4,90	4,60
Kleinfeuerungsanlagen: Heizöl, leicht	Verstärkte Einführung von schwefelarmem Heizöl	-0,08	-0,14	-0,19
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge	-0,06	-1,18	-1,76
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	-0,18	-0,20	-0,14
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	**Kombinierte Wirkung:** Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut	-0,25	-1,36	-1,83
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Lkw	-0,18	-0,05	-0,01
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	**Kombinierte Wirkung:** Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut + Förderung Partikelfilternachrüstung	-0,42	-1,41	-1,84
Straßenverkehr Lkw (Abrieb)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	0	-0,16	-0,16
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	Einführung von Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge	-0,19	-0,77	-1,12
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Diesel-Pkw	-0,07	-0,03	-0,01
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff	-0,08	-0,08	-0,06
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	**Summe** der Maßnahmen bei Pkw und Leichten Nutzfahrzeugen	-0,34	-0,88	-1,18
Straßenverkehr Pkw (Abrieb)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff	-0,06	-0,15	-0,16
Mobile Maschinen	Fortschreibung der Abgasgesetzgebung für Dieselmotoren >18 kW in Mobilen Maschinen	0	0	-0,01
Schienenverkehr	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven	0	0	-0,04
Schienenverkehr	Differenzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr nach Emissionsstandard	0	0	-0,03
Binnenschiffahrt	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung in der Binnenschifffahrt	0	-0,03	-0,12
	Summe / Kombination aller Maßnahmen	**4,19**	**-1,20**	**-2,72**

* Negative Vorzeichen der Minderungspotenziale bedeuten in dieser Tabelle Emissionsminderungen gegenüber dem Referenzszenario, während positive Vorzeichen auf eine gegenüber dem Referenzszenario erhöhte Emission weisen.

Daraus ergibt sich der in Tabelle 13 dargestellte Emissionsverlauf im Maßnahmenszenario. Bis 2020 lassen sich zwar die Emissionen um 42 % gegenüber 2000 verringern, im Vergleich zum Referenzszenario 2020 liegen die Emissionen aber nur 3 kt $PM_{2,5}$ (3 %) niedriger.

Tabelle 13: $PM_{2,5}$-Emissionen im Maßnahmenszenario

Maßnahmenszenario: $PM_{2,5}$ - Emissionen in Deutschland [kt]					
Sektor	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
stationäre Feuerungen	**37,34**	**36,74**	**32,35**	**27,40**	**26,26**
GFA, TA Luft NFR 1A1, 1A2, 1A3 (ohne PF)	***12,19***	***12,01***	***10,36***	***6,64***	***6,84***
Motoren NFR 1A1, 1A2	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Haushalte / Kleinverbrauch / Kleinfeuerung	***25,13***	***24,71***	***21,96***	***20,73***	***19,40***
Müllverbrennung	***0,03***	***0,02***	***0,03***	***0,03***	***0,03***
Verkehr / mobile Quellen	**55,76**	**44,50**	**31,48**	**22,29**	**17,81**
Straßenverkehr gesamt	***39,54***	***32,00***	***22,10***	***15,90***	***13,80***
Σ Auspuff Straßenverkehr	*29,38*	*21,41*	*11,08*	*4,65*	*2,17*
Σ Abrieb Straßenverkehr	*10,15*	*10,59*	*11,02*	*11,25*	*11,63*
Personenkraftwagen (PKW)	***14,78***	***14,47***	***10,62***	***8,85***	***8,25***
Auspuff PKW	*8,30*	*7,77*	*3,64*	*1,61*	*0,75*
Σ Abrieb PKW	*6,48*	*6,71*	*6,99*	*7,25*	*7,50*
leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	***4,13***	***3,78***	***2,55***	***1,58***	***1,05***
Auspuff LNF	*3,64*	*3,20*	*1,94*	*0,94*	*0,38*
Σ Abrieb LNF	*0,49*	*0,57*	*0,61*	*0,64*	*0,66*
schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	***18,31***	***12,53***	***8,09***	***4,87***	***4,03***
Auspuff SNF	*15,42*	*9,51*	*4,88*	*1,71*	*0,78*
Σ Abrieb SNF	*2,89*	*3,01*	*3,21*	*3,16*	*3,25*
Busse (BUS)	***2,24***	***1,14***	***0,74***	***0,49***	***0,35***
Auspuff BUS	*2,02*	*0,93*	*0,53*	*0,28*	*0,14*
Σ Abrieb BUS	*0,22*	*0,21*	*0,21*	*0,21*	*0,21*
Motorisierte Zweiräder (MZR)	***0,08***	***0,08***	***0,09***	***0,11***	***0,12***
Flugverkehr	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Bahn / Schiff	***1,41***	***1,05***	***0,91***	***0,81***	***0,67***
übriger Verkehr / mobile Maschinen / Militär	***14,81***	***11,45***	***8,47***	***5,58***	***3,34***
Bauwirtschaft	***4,74***	***2,91***	***1,73***	***0,89***	***0,38***
Landwirtschaft / Forstwirtschaft	***9,81***	***8,28***	***6,48***	***4,43***	***2,71***
Militär	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***
Brennstoffaufbereitung	**0,49**	**0,45**	**0,38**	**0,36**	**0,35**
Mineralstoffindustrien	**4,80**	**3,62**	**3,51**	**3,47**	**3,43**
Chemieindustrie	**0,34**	**0,30**	**0,29**	**0,29**	**0,29**
Eisen & Stahl	**9,54**	**9,10**	**7,17**	**6,83**	**6,49**
Nichteisen-Metalle	**0,80**	**0,82**	**0,68**	**0,51**	**0,35**
sonstige Industrien	**1,19**	**1,15**	**1,07**	**1,07**	**1,08**
Landwirtschaft*	**4,77**	**4,65**	**4,39**	**4,39**	**4,39**
Abfallwirtschaft	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
sonstiges	**21,11**	**19,79**	**18,52**	**18,44**	**18,36**
Summe	**136,13**	**121,13**	**99,83**	**85,06**	**78,81**
Summe Referenzszenario	**136,13**	**121,13**	**95,64**	**86,26**	**81,53**
Wirkung zusätzlicher Maßnahmen			**4,19**	**-1,20**	**-2,72**

* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

7.2 Maßnahmenszenario für PM_{10}

Tabelle 14 fasst die in Kapitel 6 hergeleiteten, über das Referenzszenario hinausgehenden zusätzlichen Minderungspotenziale für PM_{10} zusammen:

Die größten Minderungspotenziale zur PM_{10}-Minderung im Zeitrahmen 2020 haben die Maßnahmen zur Senkung der spezifischen Emissionen bei Holzfeuerungen in Haushalten mit 4,4 kt PM_{10}[43] sowie bei Kohlefeuerungen der Großfeuerungsanlagen mit 4 kt PM_{10}. Demgegenüber haben die für schwere Nutzfahrzeuge untersuchten Maßnahmen in 2020 nur ein Minderungspotenzial von 2,1 kt PM_{10}, bei Pkw und LNF liegt das Minderungspotenzial bei 1,5 kt PM_{10}, jeweils inklusive der vermiedenen Abriebemissionen. In beiden Fahrzeugklassen liegen die bei weitem höchsten Minderungspotenziale bei der Einführung neuer EURO-Stufen, während Lkw-Maut und die Förderung der Nachrüstung mit Rußfiltern (Lkw und Pkw) 2020 kaum ins Gewicht fallen. Eine Förderung der Rußfilternachrüstung hat ihre stärkste Wirkung im Zeitrahmen 2010, zeigt aber auch dort mit 0,3 kt PM_{10} (Summe Lkw und Pkw) im Vergleich z.B. mit Maßnahmen bei Holzfeuerungen (1,6 kt PM_{10} in 2010[44]) ein recht begrenztes Potenzial. Die übrigen untersuchten Maßnahmen fallen quantitativ kaum ins Gewicht.

Da die Korrektur der AR-Prognosen für Holzfeuerung in Haushalten in das Maßnahmenszenario integriert wurde (vgl. Kapitel 6.2.1) ergibt sich für 2010 in der Summe aller Maßnahmen eine Emissionserhöhung gegenüber dem Referenzszenario. Ab 2015, mit dem Greifen von möglichen Maßnahmen bei Großfeuerungsanlagen und im Verkehr, wird dieses paradox erscheinende Ergebnis des Maßnahmenszenarios von einer, wenn auch sehr geringen, aber doch vorhandenen „echten“ Emissionsreduktion gegenüber dem Referenzszenario abgelöst.

[43] Das Minderungspotenzial bei den Holzfeuerungen (Novelle 1. BImSchV und Förderung Pelletkessel) von gut 4,4 kt PM_{10} in 2020 ist bezogen auf die Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios. Bezogen auf die korrigierte Aktivitätsrate (vgl. Kapitel 6.2.1) beträgt das Minderungspotenzial sogar 8,2 kt PM_{10}.

[44] Das Minderungspotenzial bei den Holzfeuerungen (Novelle 1. BImSchV und Förderung Pelletkessel) von 1,6 kt PM_{10} in 2010 ist bezogen auf die Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios. Bezogen auf die korrigierte Aktivitätsrate (vgl. Kapitel 6.2.1) beträgt das Minderungspotenzial 2,3 kt PM_{10}.

Tabelle 14: Zusammenfassung der zusätzlichen Emissionsminderungspotenziale für PM_{10}

Zusätzliche Minderungspotenziale* zur Minderung der PM_{10}-Emissionen [kt]				
Sektor	**Maßnahme**	**2010**	**2015**	**2020**
Großfeuerungsanlagen: Kohlefeuerung	Filterertüchtigung: 10 mg/m³ Tagesmittel	0	-3,76	-4,05
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Korrektur der Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios	7,80	10,70	13,20
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Novelle 1.BImSchV + Förderung Pelletkessel (unkorrigierte AR)	-1,60	-3,20	-4,40
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	**Kombinierte Wirkung:** korrigierte AR und Novelle 1.BImSchV sowie Förderung Pelletkessel	5,50	5,30	5,00
Kleinfeuerungsanlagen: Heizöl, leicht	Verstärkte Einführung von schwefelarmem Heizöl	-0,08	-0,14	-0,19
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge	-0,06	-1,18	-1,76
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	-0,18	-0,20	-0,14
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	**Kombinierte Wirkung:** Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut	-0,25	-1,36	-1,83
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Lkw	-0,18	-0,05	-0,01
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	**Kombinierte Wirkung:** Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut + Förderung Partikelfilternachrüstung	-0,42	-1,41	-1,84
Straßenverkehr Lkw (Abrieb)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	0	-0,29	-0,30
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	Einführung von Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge	-0,19	-0,77	-1,12
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Diesel-Pkw	-0,07	-0,03	-0,01
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff	-0,08	-0,08	-0,06
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	**Summe** der Maßnahmen bei Pkw und Leichten Nutzfahrzeugen	-0,34	-0,88	-1,18
Straßenverkehr Pkw (Abrieb)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff	-0,12	-0,28	-0,30
Mobile Maschinen	Fortschreibung der Abgasgesetzgebung für Dieselmotoren >18 kW in Mobilen Maschinen	0	0	-0,01
Schienenverkehr	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven	0	0	-0,04
Schienenverkehr	Differenzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr nach Emissionsstandard	0	0	-0,03
Binnenschiffahrt	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung in der Binnenschifffahrt	0	-0,03	-0,12
	Summe / Kombination aller Maßnahmen	**4,54**	**-1,49**	**-3,05**

* Negative Vorzeichen der Minderungspotenziale bedeuten in dieser Tabelle Emissionsminderungen gegenüber dem Referenzszenario, während positive Vorzeichen auf eine gegenüber dem Referenzszenario erhöhte Emission weisen.

Daraus ergibt sich der in Tabelle 15 dargestellte Emissionsverlauf im Maßnahmenszenario. Bis 2020 lassen sich zwar die Emissionen um 32 % gegenüber 2000 verringern, im Vergleich zum Referenzszenario 2020 liegen die Emissionen aber nur um 3 kt PM_{10} (2 %) niedriger.

Tabelle 15: PM_{10}-Emissionen im Maßnahmenszenario

Maßnahmenszenario: PM_{10} - Emissionen in Deutschland [kt]					
Sektor	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
stationäre Feuerungen	**40,70**	**40,12**	**35,28**	**29,80**	**28,62**
GFA, TA Luft NFR 1A1, 1A2, 1A3 (ohne PF)	***13,71***	***13,51***	***11,65***	***7,48***	***7,69***
Motoren NFR 1A1, 1A2	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Haushalte / Kleinverbrauch / Kleinfeuerung	***26,96***	***26,58***	***23,59***	***22,29***	***20,90***
Müllverbrennung	***0,03***	***0,03***	***0,03***	***0,03***	***0,03***
Verkehr / mobile Quellen	**64,40**	**53,51**	**40,95**	**31,96**	**27,82**
Straßenverkehr gesamt	***48,18***	***41,02***	***31,57***	***25,58***	***23,81***
Σ Auspuff Straßenverkehr	*29,38*	*21,41*	*11,16*	*4,74*	*2,28*
Σ Abrieb Straßenverkehr	*18,79*	*19,60*	*20,40*	*20,83*	*21,53*
Personenkraftwagen (PKW)	***20,31***	***20,19***	***16,58***	***15,03***	***14,64***
Auspuff PKW	*8,30*	*7,77*	*3,64*	*1,61*	*0,75*
Σ Abrieb PKW	*12,01*	*12,43*	*12,95*	*13,42*	*13,89*
leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	***4,54***	***4,27***	***3,07***	***2,12***	***1,61***
Auspuff LNF	*3,64*	*3,20*	*1,94*	*0,94*	*0,38*
Σ Abrieb LNF	*0,90*	*1,06*	*1,13*	*1,18*	*1,23*
schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	***20,80***	***15,12***	***10,85***	***7,58***	***6,83***
Auspuff SNF	*15,42*	*9,51*	*4,88*	*1,71*	*0,78*
Σ Abrieb SNF	*5,38*	*5,60*	*5,97*	*5,87*	*6,05*
Busse (BUS)	***2,39***	***1,29***	***0,88***	***0,63***	***0,50***
Auspuff BUS	*2,02*	*0,93*	*0,53*	*0,28*	*0,14*
Σ Abrieb BUS	*0,36*	*0,36*	*0,36*	*0,36*	*0,36*
Motorisierte Zweiräder (MZR)	***0,14***	***0,16***	***0,18***	***0,20***	***0,23***
Flugverkehr	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***	***0,00***
Bahn / Schiff	***1,41***	***1,05***	***0,91***	***0,81***	***0,67***
übriger Verkehr / mobile Maschinen / Militär	***14,81***	***11,45***	***8,47***	***5,58***	***3,34***
Bauwirtschaft	***4,74***	***2,91***	***1,73***	***0,89***	***0,38***
Landwirtschaft / Forstwirtschaft	***9,81***	***8,28***	***6,48***	***4,43***	***2,71***
Militär	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***
Brennstoffaufbereitung	**1,09**	**1,02**	**0,75**	**0,69**	**0,65**
Mineralstoffindustrien	**6,71**	**4,98**	**4,64**	**4,58**	**4,53**
Chemieindustrie	**0,53**	**0,48**	**0,46**	**0,46**	**0,46**
Eisen & Stahl	**27,89**	**26,36**	**21,57**	**20,56**	**19,54**
Nichteisen-Metalle	**1,59**	**1,62**	**1,33**	**0,98**	**0,62**
sonstige Industrien	**1,85**	**1,80**	**1,68**	**1,68**	**1,69**
Landwirtschaft*	**20,36**	**20,52**	**19,86**	**19,86**	**19,86**
Abfallwirtschaft	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
sonstiges	**60,44**	**53,82**	**49,47**	**49,60**	**49,68**
Summe	**225,55**	**204,24**	**175,99**	**160,17**	**153,47**
Summe Referenzszenario	**225,55**	**204,24**	**171,45**	**161,66**	**156,53**
Wirkung zusätzlicher Maßnahmen			**4,54**	**-1,49**	**-3,05**

* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

7.3 Maßnahmenszenario für Gesamtstaub

Tabelle 16 fasst die in Kapitel 6 hergeleiteten, über das Referenzszenario hinausgehenden zusätzlichen Minderungspotenziale für Gesamtstaub zusammen:

Die größten Minderungspotenziale zur Gesamtstaub-Minderung im Zeitrahmen 2020 haben die Maßnahmen zur Senkung der spezifischen Emissionen bei Holzfeuerungen in Haushalten[45] sowie bei Kohlefeuerungen der Großfeuerungsanlagen mit jeweils ca. 4,5 kt Gesamtstaub. Demgegenüber haben die für schwere Nutzfahrzeuge untersuchten Maßnahmen in 2020 nur ein Minderungspotenzial von 2,3 kt Gesamtstaub, bei Pkw liegt das Minderungspotenzial bei 1,7 kt Gesamtstaub, jeweils inklusive der vermiedenen Abriebemissionen. In beiden Fahrzeugklassen liegen die bei weitem höchsten Minderungspotenziale bei der Einführung neuer EURO-Stufen, während Lkw-Maut und die Förderung der Nachrüstung mit Rußfiltern (Lkw und Pkw) 2020 kaum ins Gewicht fallen. Eine Förderung der Rußfilternachrüstung hat ihre stärkste Wirkung im Zeitrahmen 2010, zeigt aber auch dort mit 0,3 kt Gesamtstaub (Summe Lkw und Pkw) im Vergleich z.B. mit Maßnahmen bei Holzfeuerungen (1,6 kt Gesamtstaub in 2010[46]) ein recht begrenztes Potenzial. Die übrigen untersuchten Maßnahmen fallen quantitativ kaum ins Gewicht.

Da die Korrektur der AR-Prognosen für Holzfeuerung in Haushalten in das Maßnahmenszenario integriert wurde (vgl. Kapitel 6.2.1) ergibt sich für 2010 in der Summe aller Maßnahmen eine Emissionserhöhung gegenüber dem Referenzszenario. Ab 2015, mit dem Greifen von möglichen Maßnahmen bei Großfeuerungsanlagen und im Verkehr, wird dieses paradox erscheinende Ergebnis des Maßnahmenszenarios von einer, wenn auch sehr geringen, aber doch vorhandenen „echten“ Emissionsreduktion gegenüber dem Referenzszenario abgelöst.

[45] Das Minderungspotenzial bei den Holzfeuerungen (Novelle 1. BImSchV und Förderung Pelletkessel) von 4,6 kt Gesamtstaub in 2020 ist bezogen auf die Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios. Bezogen auf die korrigierte Aktivitätsrate (vgl. Kapitel 6.2.1) beträgt das Minderungspotenzial sogar 8,6 kt Gesamtstaub.

[46] Das Minderungspotenzial bei den Holzfeuerungen (Novelle 1. BImSchV und Förderung Pelletkessel) von 1,6 kt Gesamtstaub in 2010 ist bezogen auf die Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios. Bezogen auf die korrigierte Aktivitätsrate (vgl. Kapitel 6.2.1) beträgt das Minderungspotenzial 2,4 kt Gesamtstaub.

Tabelle 16: Zusammenfassung der zusätzlichen Emissionsminderungspotenziale für Gesamtstaub

Zusätzliche Minderungspotenziale* zur Minderung der Gesamtstaubemissionen [kt]				
Sektor	**Maßnahme**	**2010**	**2015**	**2020**
Großfeuerungsanlagen: Kohlefeuerung	Filterertüchtigung: 10 mg/m³ Tagesmittel	0	-4,18	-4,50
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Korrektur der Aktivitätsrate des Energiereferenzszenarios	8,10	11,10	13,70
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Novelle 1.BImSchV + Förderung Pelletkessel (unkorrigierte AR)	-1,60	-3,30	-4,60
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	**Kombinierte Wirkung:** korrigierte AR und Novelle 1.BImSchV sowie Förderung Pelletkessel	5,70	5,50	5,10
Kleinfeuerungsanlagen: Heizöl, leicht	Verstärkte Einführung von schwefelarmem Heizöl	-0,08	-0,14	-0,19
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge	-0,06	-1,18	-1,76
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	-0,18	-0,20	-0,14
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	**Kombinierte Wirkung:** Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut	-0,25	-1,36	-1,83
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Lkw	-0,18	-0,05	-0,01
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	**Kombinierte Wirkung:** Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut + Förderung Partikelfilternachrüstung	-0,42	-1,41	-1,84
Straßenverkehr Lkw (Abrieb)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	0	-0,46	-0,48
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	Einführung von Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge	-0,19	-0,77	-1,12
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Diesel-Pkw	-0,07	-0,03	-0,01
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff	-0,08	-0,08	-0,06
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	**Summe** der Maßnahmen bei Pkw und Leichten Nutzfahrzeugen	-0,34	-0,88	-1,18
Straßenverkehr Pkw (Abrieb)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto-Kraftstoff	-0,19	-0,44	-0,47
Mobile Maschinen	Fortschreibung der Abgasgesetzgebung für Dieselmotoren >18 kW in Mobilen Maschinen	0	0	-0,01
Schienenverkehr	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven	0	0	-0,04
Schienenverkehr	Differenzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr nach Emissionsstandard	0	0	-0,03
Binnenschiffahrt	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung in der Binnenschifffahrt	0	-0,03	-0,12
	Summe / Kombination aller Maßnahmen	**4,67**	**-2,03**	**-3,75**

* Negative Vorzeichen der Minderungspotenziale bedeuten in dieser Tabelle Emissionsminderungen gegenüber dem Referenzszenario, während positive Vorzeichen auf eine gegenüber dem Referenzszenario erhöhte Emission weisen.

Daraus ergibt sich der in Tabelle 17 dargestellte Emissionsverlauf im Maßnahmenszenario. Bis 2020 lassen sich zwar die Emissionen um 28 % gegenüber 2000 verringern, im Vergleich zum Referenzszenario 2020 liegen die Emissionen aber nur um 4 kt Gesamtstaub (2 %) niedriger.

Tabelle 17: Gesamtstaub-Emissionen im Maßnahmenszenario

Maßnahmenszenario: Gesamtstaub - Emissionen in Deutschland [kt]					
Sektor	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
stationäre Feuerungen	**43,21**	**42,63**	**37,42**	**31,44**	**30,15**
GFA, TA Luft NFR 1A1, 1A2, 1A3 (ohne PF)	***15,23***	***15,01***	***12,95***	***8,31***	***8,55***
Motoren NFR 1A1, 1A2	***0,02***	***0,03***	***0,02***	***0,02***	***0,02***
Haushalte / Kleinverbrauch / Kleinfeuerung	***27,93***	***27,56***	***24,41***	***23,08***	***21,55***
Müllverbrennung	***0,03***	***0,03***	***0,03***	***0,03***	***0,03***
Verkehr / mobile Quellen	**76,13**	**65,41**	**53,56**	**44,93**	**41,30**
Straßenverkehr gesamt	***58,87***	***52,16***	***43,26***	***37,52***	***36,16***
Σ Auspuff Straßenverkehr	*29,38*	*21,41*	*11,26*	*4,85*	*2,40*
Σ Abrieb Straßenverkehr	*29,49*	*30,74*	*32,01*	*32,67*	*33,76*
Personenkraftwagen (PKW)	***27,07***	***27,18***	***23,86***	***22,58***	***22,46***
Auspuff PKW	*8,30*	*7,77*	*3,64*	*1,61*	*0,75*
Σ Abrieb PKW	*18,77*	*19,41*	*20,23*	*20,97*	*21,71*
leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	***4,99***	***4,80***	***3,64***	***2,71***	***2,23***
Auspuff LNF	*3,64*	*3,20*	*1,94*	*0,94*	*0,38*
Σ Abrieb LNF	*1,35*	*1,59*	*1,70*	*1,77*	*1,85*
schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	***23,94***	***18,39***	***14,34***	***11,01***	***10,36***
Auspuff SNF	*15,42*	*9,51*	*4,88*	*1,71*	*0,78*
Σ Abrieb SNF	*8,52*	*8,87*	*9,45*	*9,30*	*9,58*
Busse (BUS)	***2,66***	***1,56***	***1,15***	***0,90***	***0,77***
Auspuff BUS	*2,02*	*0,93*	*0,53*	*0,28*	*0,14*
Σ Abrieb BUS	*0,64*	*0,63*	*0,63*	*0,63*	*0,63*
Motorisierte Zweiräder (MZR)	***0,22***	***0,24***	***0,27***	***0,31***	***0,35***
Flugverkehr	***0,72***	***0,75***	***0,91***	***1,02***	***1,13***
Bahn / Schiff	***1,73***	***1,05***	***0,91***	***0,81***	***0,67***
übriger Verkehr / mobile Maschinen / Militär	***14,81***	***11,45***	***8,47***	***5,58***	***3,34***
Bauwirtschaft	***4,74***	***2,91***	***1,73***	***0,89***	***0,38***
Landwirtschaft / Forstwirtschaft	***9,81***	***8,28***	***6,48***	***4,43***	***2,71***
Militär	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***	***0,25***
Brennstoffaufbereitung	**2,88**	**2,62**	**1,88**	**1,70**	**1,59**
Mineralstoffindustrien	**9,54**	**7,52**	**7,05**	**6,99**	**6,92**
Chemieindustrie	**0,72**	**0,65**	**0,63**	**0,63**	**0,63**
Eisen & Stahl	**44,32**	**41,84**	**34,50**	**32,89**	**31,27**
Nichteisen-Metalle	**2,53**	**2,58**	**2,16**	**1,64**	**1,13**
sonstige Industrien	**2,59**	**2,54**	**2,38**	**2,39**	**2,40**
Landwirtschaft (PM_{10})*	**20,36**	**20,52**	**19,86**	**19,86**	**19,86**
Abfallwirtschaft	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**
sonstiges	**122,03**	**108,81**	**97,06**	**97,34**	**97,51**
Summe	**324,33**	**295,12**	**256,51**	**239,81**	**232,76**
Summe Referenzszenario	**324,33**	**295,12**	**251,84**	**241,85**	**236,51**
Wirkung zusätzlicher Maßnahmen			**4,67**	**-2,03**	**-3,75**

* Für die Landwirtschaft wurden keine Gesamtstaub-Emissionen berechnet, deshalb werden hier die PM_{10}-Emissionen aufgeführt.

Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen zudem eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

8 Unsicherheiten im Staubinventar

Die Staubinventare sind im Vergleich zu anderen Luftschadstoffen dadurch gekennzeichnet, dass erstens die Emissionsfracht über eine größere Menge an Quellgruppen verteilt ist und dass zweitens ein recht hoher Anteil der bilanzierten Emissionen aus Quellgruppen stammt, über die nur eine sehr schlechte Wissensbasis vorhanden ist. Beides gilt tendenziell für Gesamtstaub stärker als für $PM_{2,5}$, aber auch bei $PM_{2,5}$ erhöht sich auf der Zeitschiene 2000 – 2020 stark der relative Anteil von „unsicheren" Quellgruppen, da die Emissionsreduktionen im Referenzszenario vor allem in den gut dokumentierten Quellgruppen stattfinden.

Andererseits sind die **Emissionsfaktoren** für Gesamtstaub im Vergleich der verschieden Staubfraktionen als am verlässlichsten einzuschätzen, weil hier noch ein relativ hoher Anteil der Daten auf Messwerten beruht[47]. Es sind in vielen Quellgruppen nur relativ wenige systematische Messdaten für PM_{10}- und $PM_{2,5}$-Emissionen verfügbar, und die in den meisten Quellgruppen zur Berechnung der PM_{10}- bzw. $PM_{2,5}$-Emissionsfaktoren benutzten Splitfaktoren für den Gesamtstaub-Emissionsfaktor sind oft schlecht dokumentiert und bringen weitere Unsicherheiten in die PM_{10}- und $PM_{2,5}$-Emissionsinventare bzw. -prognosen.

Als besonders unsicher müssen dabei diejenigen Quellgruppen gelten, für die mit relativ schlecht dokumentierten und nicht auf die konkreten Emissionssituationen in Deutschland angepassten Emissionsfaktoren gerechnet wird. Dies sind v.a. die **Abriebemissionen** (Reifen, Bremsen und Straßenbelag) **des Straßenverkehrs**, sowie die im deutschen Inventar aus dem RAINS-Modell übernommenen Quellgruppen **Bau, Gewerbe und Haushaltstätigkeiten** (Feuerwerk, Grillen, Zigarettenrauch). Auch für die **Landwirtschaft** befindet sich die Wissenschaft der Ermittlung von Emissionsfaktoren noch in einem relativen Frühstadium. Auch die Emissionsfaktoren zum **Umschlag von Schüttgütern** beruhen auf Expertenschätzungen, die kaum durch Messungen abgesichert sind.

Auch in den Prognosen der **Aktivitätsraten** stecken erhebliche Unsicherheiten: Den Aktivitätsprognosen für stationäre Feuerungen und Verkehr sowie einer größeren Menge von Industrieprozessen liegen Modellberechnungen zu Grunde. Schlechter ist die Lage z.B. bei der Landwirtschaft nach 2010 und beim Schüttgutumschlag, wo mangels „echter" Modellergebnisse konstante Fortschreibungen der Aktivitätsraten angenommen wurden. Bei Aktivitätsprognosen ist auch ein anderer Unsicherheitsbegriff als bei der Emissionsberichterstattung anzuwenden, die ja im wesentlichen auf Wirtschaftsstatistiken beruht. Zur Quantifizierung von Unsicherheiten der Aktivitätsprognosen sind am ehesten Sensitivitätsanalyse innerhalb der zu Grunde liegenden Modelle und Vergleiche mit den Ergebnissen alternativer Modelle / Szenarien sinnvoll.

Zusätzlich zu den Unsicherheit innerhalb der bilanzierten Quellgruppen, ist in einigen Bereichen noch die Frage offen, ob nicht noch weitere Quellgruppen in das Inventar aufgenommen werden sollten. An erster Stelle ist hier sicherlich die **Wiederaufwirbelung von Straßenstaub** zu nennen, die zwar keine primäre Emissionsquelle darstellt, aber trotzdem stark zur Immission beitragen kann; in der Literatur wird hier für Deutschland eine Größenordnung von 125 kt Gesamtstaub, 25 kt PM_{10} bzw. 6 kt $PM_{2,5}$ für 2000 genannt[48]. Dies entspräche einer

[47] Eine Ausnahme bildet hier die Landwirtschaft: Die von der FAL modellierten Staubemissionen liegen nur für die Fraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ vor, Gesamtstaub wurde dort überhaupt nicht betrachtet. Als Gesamtstaubemissionen wurden in diesem Bericht die PM_{10}-Emissionen übernommen, was sicherlich eine systematische Unterschätzung darstellt.

[48] vgl. Pregger, Thomas (IER): „Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland", Dissertation, Stuttgart, 2006

Steigerung der für 2000 bilanzierten Mengen um 38 % (Gesamtstaub), 11 % (PM_{10}) bzw. 5 % ($PM_{2,5}$). Das UBA hat sich bisher v.a. wegen der hohen Unsicherheiten der verfügbaren Abschätzungen bewusst gegen eine Aufnahme dieser Quellgruppe in das Emissionsinventar entschieden. Weiterhin fehlen **Waldbrände** im Emissionsinventar. Schließlich dürfte die **Verbrennung von Gartenabfällen** sowohl in privatem Rahmen als auch durch Osterfeuer etc. in nicht unerheblichem Maße zu den Emissionen beitragen[49], Quantifizierungen der Jahresemissionen für Deutschland liegen dazu bisher aber nicht vor.

Die Unsicherheiten im Maßnahmenszenario werden angesichts der relativ niedrigen zusätzlichen Minderungspotenzial dominiert durch die auch schon im Referenzszenario auftretenden Unsicherheiten. Demgegenüber dürften die Unsicherheiten bei der Berechnung der Minderungspotenziale der Einzelmaßnahmen eher sekundär sein.

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten und Sensitivitäten der berechneten Staubemissionen ist zwar recht aufwändig, wäre sehr sinnvoll insbesondere im Hinblick auf die Entwicklungen in der Europäischen Luftreinhaltepolitik, d.h. vor allem die Überlegungen, nationale Emissionsobergrenzen für $PM_{2,5}$-Emissionen einzuführen.

[49] vgl. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt: „Luftschadstoffe durch Gartenabfallverbrennung in Magdeburg“; Fachinformation Nr. 8/2004

9 Quellen

ADAC (2004): Diesel gegen Benziner im Kostenvergleich. Stand 2004. Aus “Informationen aus der Fahrzeugtechnik“. ADAC, 2004.

CAFE Clean Air for Europe - http://www.eu.int/comm/environment/air/cafe.htm

CE (2003): Clean on track – Reducing emissions from diesel locomotives. CE, Delft 2003.

CITEPA (2003): Off-Road Background Documents. Expert Group on Techno-Economic Issues (EGTEI), http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm.

CORINAIR (2005): CORINAIR Atmospheric Inventory Guidebook - 2005, CORINAIR-Handbook http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

Ecofys (2004): Koch, Matthias: Harmonisierung der Emissionsberichterstattung II: Staub, Feinstaub PM_{10} und $PM_{2,5}$, UFOPLAN FKZ 201 42 259

EU-Kommission (2005): Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Thematische Strategie zur Luftreinhaltung (MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DEN RAT UND DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT); KOM(2005) 446 endgültig, Brüssel, den 21.9.2005; inkl. Anhänge {SEK(2005) 1132} und {SEK(2005) 1133}

FAL (2006): Osterburg, Bernhard (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume; Juli 2006): „Annahmen für die Prognose der Spurengas-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2010“ in Vorbereitung zur Veröffentlichung im Nationalen Inventarbereicht (NIR) 2007 des Umweltbundesamtes.

FAL/KTBL (2006): Bernhard Osterburg, Manfred Lüttich, Hans-Dieter Haenel, Ulrich Dämmgen, Helmut Döhler und Brigitte Eurich-Menden (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume bzw. Institut für Agrarökologie sowie Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): „Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Prognose für 2010“ Ergebnisse der Rechnungen mit GAS-EM; in Vorbereitung zur Veröffentlichung im Nationalen Inventarbereicht (NIR) 2007 des Umweltbundesamtes.

GWS (2004): Schätzung der Wirkung umweltpolitischer Maßnahmen im Verkehrssektor unter Nutzung der Datenbank der Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes. Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH, Osnabrück 2004.

IER/ DFIU /ifeu/IZT (2006) Theloke, J.; Pregger, T.; Friedrich, R.; Reis, S; Wenzel, S; Calaminus, B.; Lambrecht, U.; Dünnebeil, F.; Jörß, W.; Handke, V.: „Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC-Richtlinie“ UFOPLAN FKZ 205 42 221

IIASA (2002) IIASA Interim Report IR-02-076: „Modelling Particulate Emissions in Europe - A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs“ von Zbigniew Klimont, Janusz Cofala, Imrich Bertok, Markus Amann, Chris Heyes and Frantisek Gyarfas

IPCC (1996) The IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reporting Instructions, IPCC-Guidelines http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm

IPCC (2000) Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/

IVD (2003): Struschka, Michael et al.: “Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung, UBA-TEXTE 41/03

IVS (2002): Wermuth et al.: Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland. Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen. Schlussbericht. Technische Universität Braunschweig – Institut für Verkehr und Stadtbauwesen (Federführung), Braunschweig 2003.

IVT (2004): Hautzinger et al.: Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. (IVT) Heilbronn / Mannheim (Federführung), Heilbronn 2004.

IZT (2003): Wolfram Jörß, Volker Handke: Emissionsschätzung für SO_2, NO_x, NMVOC und NH_3 in Deutschland 2000-2020, IZT-WerkstattBericht Nr. 59, Berlin, 2003

IZT (2004): Jörß, Wolfram: Luftreinhaltung 2020 - Modellierung der Emissionen. Prüfung von Daten und Annahmen des RAINS-Modells für Deutschland im Rahmen der Europäischen Luftreinhaltepolitik (CAFE), IZT-WerkstattBericht Nr. 69, Berlin, Oktober 2004

IZT (2006): Jörß, Wolfram und Handke, Volker: Referenzszenario 2000 – 2020 für Emissionen unter der NEC-Richtlinie (SO2, NOx, NMVOC und NH3), Bericht im Rahmen des UFOPLAN F&E-Vorhabens UFOPLAN FKZ 205 42 221, Oktober 2006

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2004): „Luftschadstoffe durch Gartenabfallverbrennung in Magdeburg“; Fachinformation Nr. 8/2004

Pregger, Thomas (IER) (2006): „Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland“, Dissertation, Stuttgart, 2006

RAINS-Modell (2005): http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb

RAINS-Modell (2006): http://www.iiasa.ac.at/web-apps/apd/RainsWeb/

TREMOD (2005): TREMOD (Transport Emission Estimation Model): Wolfram Knörr et al. (IFEU): Fortschreibung „Daten- und Rechenmodell“: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030; Endbericht, im Auftrag des Umweltbundesamtes; UFOPLAN Nr. 204 45 139; Heidelberg, 2005

Umweltbundesamt (2003): CO_2-Minderung im Verkehr. Beschreibung von Maßnahmen und Aktualisierung von Potenzialen. Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes, Berlin 2003.

Umweltbundesamt (2003): Future-Diesel: Abgasgesetzgebung Pkw, leichte Nfz und Lkw – Fortschreibung der Grenzwerte bei Dieselfahrzeugen. Umweltbundesamt, Berlin 2003.

Umweltbundesamt (2005): Energiereferenzszenario 2000-2020 für Emissionsberechnungen des Umweltbundesamtes; UBA TEXTE 30/05, Dessau, Dezember 2005; ISSN 0722-186X

Ziesing et al. (2005): Klimaschutz in Deutschland bis 2030 - Politikszenarien III: H.-J. Ziesing; P. Markewitz; B. Schlomann; F.C. Matthes et al.: Endbericht zum For-

schungsvorhaben Politikszenarien III; UBA Climate Change Nr. 03/2005; Dessau, Januar 2005; ISSN 1611-8855

ZSE (2005): Datenbank Zentrales System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes, Version vom 16.11.2005

ZSE (2006): Datenbank Zentrales System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes, Version vom 29.11.2006