

TEXTE

43/2013

Emissionen im PAREST- Referenzszenario 2005-2020

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 206 43 200/01
UBA-FB 001524/ANH,4

Emissionen im PAREST- Referenzszenario 2005-2020

**Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur
Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“**

von

Wolfram Jörß

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

Ulrike Kugler

Jochen Theloke

Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung (IER), Stuttgart

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4518.html> verfügbar.

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

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) Schopenhauerstr. 26 14129 Berlin	Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) Heßbrühlstr. 49a 70565 Stuttgart
Abschlussdatum:	Mai 2010	
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/	
Redaktion:	Fachgebiet II 4.1 Grundsatzfragen der Luftreinhaltung Johanna Appelhans	

Dessau-Roßlau, Juni 2013

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
1 Einleitung	9
2 Grundlagen der Emissionsbilanzierung	10
3 Das Aktivitäts- und Energieszenario	11
4 Überarbeitungen des ZSE-Basisdatensatzes	12
4.1 Landwirtschaft	12
4.2 Straßenverkehr	13
4.2.1 Aktualisierung des Verkehrsmodells	13
4.2.2 Inlandsprinzip und Energiebilanzprinzip	13
4.2.3 Wiederaufwirbelung von Straßenstaub	14
4.2.4 Erweiterung des Referenzszenarios um Euro 5/6 für Pkw und LNF, Euro VI für SNF und LKW-Maut	14
4.3 Schifffahrt	16
4.4 Ziviler Flugverkehr	16
4.5 Mobile Maschinen	17
5 Ergebnisse der Emissionsbilanzierungen	18
5.1 Berechnung nach dem Inlandsprinzip	18
5.2 Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	24
6 Literatur	30

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Vergleich der landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen PAREST-REF mit [ZSE 2007].....	12
Tabelle 2: Minderungseffekte zur Erweiterung des Referenzszenarios um Euro 5/6 für Pkw und LNF, Euro VI für SNF und LKW-Maut	15
Tabelle 3: Annahmen zum Schwefelgehalt von Schiffsdiesel.....	16
Tabelle 4: Emissionen und Treibstoffverbrauch des zivilen Flugverkehrs 2005.....	17
Tabelle 5: PM ₁₀ -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip	18
Tabelle 6: PM _{2,5} -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip	19
Tabelle 7: SO ₂ -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip	20
Tabelle 8: NO _x -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip	21
Tabelle 9: NMVOC-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip	22
Tabelle 10: NH ₃ -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip	23
Tabelle 11: PM ₁₀ -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	24
Tabelle 12: PM _{2,5} -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	25
Tabelle 13: SO ₂ -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	26
Tabelle 14: NO _x -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	27
Tabelle 15: NMVOC-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	28
Tabelle 16: NH ₃ -Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip	29

1 Einleitung

Im Forschungsvorhaben PAREST¹ wurden Emissionsszenarien bis 2020 für Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und die Aerosol-Vorläufersubstanzen SO₂, NO_x, NH₃ und NMVOC für Deutschland und Europa erstellt, Minderungsmaßnahmen evaluiert und daraus die PM-Immissionsbelastung für Deutschland modelliert.

In diesem Teilbericht zu PAREST werden die deutschlandweit aggregierten Emissionssummen der betrachteten Schadstoffe im Referenzszenario vorgestellt.

Weitere emissionsseitige Teilberichte im Rahmen von PAREST behandeln z.B.

- die räumliche Verteilung der Emissionen über Deutschland [Thiruchittampalam et al. 2010 a],
- Maßnahmen- und Sensitivitätsszenarien sowie Unsicherheitsbetrachtungen für Deutschland ([Theloke et al. 2010], [Kugler et al. 2010], [Jörß und Degel 2010], [Jörß und Handke 2010], [Jörß 2010]) sowie
- die europäischen Hintergrundemissionen ([Denier van der Gon et al. 2009] und [Denier van der Gon et al. 2010]).

Zusätzlich wurden diverse PAREST-Berichte zur Immissionsmodellierung (z.B. [Stern 2010 a], [Stern 2010 b], [Stern 2010 c], [Kerschbaumer 2010 a], [Kerschbaumer 2010 b]) sowie ein zentraler Schlussbericht [Bultjes et al. 2010] erstellt.

¹ PAREST – Particle Reduction Strategies – ist ein Forschungsvorhaben für das Umweltbundesamt, durchgeführt unter dem FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Das Forschungskonsortium besteht aus

- TNO, Institut für Umwelt und Luftqualität, Niederlande,
- Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin
- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin (IZT)
- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart (IER)
- Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig (IfT) und
- Johann Heinrich von Thünen-Institut, (vTI)

Das Projekt ist im Internet zu finden unter www.parest.de.

2 Grundlagen der Emissionsbilanzierung

Grundlage der Referenz-Emissionsdatenbasis für PAREST ist die Emissionsdatenbank des Umweltbundesamtes „Zentrales System Emissionen“ (ZSE) mit dem Stand vom 08.06.2007. Dabei wurden einerseits die Daten der Jahre 2000² und 2005 als Basisjahre und die Daten für 2010, 2015 und 2020 als Zieljahre der Emissions- und Immissions Szenarien benutzt.

Prinzipiell ist das ZSE so strukturiert, dass die Emissionen durch Verknüpfung von Aktivitätsraten (AR) mit Emissionsfaktoren (EF) berechnet werden. 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. Als Emissionsfaktor wird ein für die Emissionsursache repräsentativer Schadstoffausstoß pro Mengeneinheit durch Messung, Bilanzierung oder Expertenschätzung ermittelt.

Die Struktur des [ZSE 2007] sowie fast vollständig die dort benutzten Daten für Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und Emissionen sind in [Jörß und Handke 2007] und [Jörß et al. 2007] dokumentiert.

Dieser ZSE-Basis-Datensatz wurde im Rahmen des Projekts für eine Reihe von Quellgruppen überarbeitet, um Lücken zu schließen, Fehler zu korrigieren oder Erweiterungen vorzunehmen (vgl. Kapitel 3 und 4).

Bei der Bilanzierung von Emissionen unterscheidet man für mobile Quellen außerdem Bilanzen nach dem Inlandsprinzip und nach dem Energiebilanzprinzip: Beim Inlandsprinzip geht es darum, zu berechnen, wie viel Treibstoff von Fahrzeugen auf deutschem Territorium verbraucht wurde und wie viel Emissionen daraus innerhalb Deutschlands entstanden sind. Beim Energiebilanzprinzip wird dagegen nicht der Verbrauch des Treibstoffs bilanziert sondern der Verkauf. So würde z.B. in Österreich getanktes Benzin, das auf bayerischen Straßen verfahren und in Emissionen umgesetzt wird nach dem Inlandsprinzip den deutschen Emissionen zugerechnet, nach dem Energiebilanzprinzip aber nach Österreich verbucht. Das Energiebilanzprinzip findet insbesondere in den internationalen Regeln zur Treibhausgas-Emissionsberichterstattung (z.B. [IPCC 2006]) Anwendung und ist deshalb in der Emissionsberichterstattung des Umweltbundesamtes fest verankert, auch für primäre PM-Emissionen und Aerosolvorläufersubstanzen. Als Input für eine Immissionsmodellierung von PM ist jedoch eine Bilanz nach Inlandsprinzip zielführender, weil diese größeren Wert auf die räumliche Zuordnung der Emissionen legt.

² Das Jahr 2000 ist für die eigentliche Immissionsmodellierung in PAREST nicht bedeutend. Trotzdem wurden die 2000er Daten in den Emissionsbilanzen mitgeführt, um einerseits eine Vergleichbarkeit zu früheren Emissionsbilanzen ([Jörß und Handke 2007] und [Jörß et al. 2007]) zu erleichtern und andererseits bei Feinstaub Aussagen zur prozentualen Emissionsminderung von 2000 bis 2020 machen zu können, einer Größe, die in der Diskussion um die Novelle der NEC-Richtlinie von Relevanz ist.

Im Folgenden ist das PAREST-Referenzszenario mit dem Stand vom Januar 2009 beschrieben, welches als Ausgangspunkt für die Modellrechnungen genutzt wurde.

3 Das Aktivitäts- und Energieszenario

Als Aktivitätsszenario bezeichnet man die Gesamtheit aller Aktivitätsraten im Zeitverlauf bis 2020. Sektorale setzt sich dies zusammen aus Annahmen zu zukünftigen Entwicklungen z.B. bei Energieverbräuchen (Energieszenario) aber auch in der Landwirtschaft, industrieller Produktion usw.

Die Gesamtheit der Energieverbräuche im Referenzdatensatz 2005 bis 2020 stellt das PAREST-Energie-Referenzszenario dar, wie es im Wesentlichen auch im [ZSE 2007] implementiert war. Dieses Energiereferenzszenario für PAREST ist weitgehend identisch mit dem 2005 interministeriell abgestimmten „Energiereferenzszenario des Umweltbundesamtes zur Emissionsberechnung“ [UBA 2005] allerdings mit einigen Modifikationen:

- Bei der stationären Verbrennung wurden die Erweiterungen mitberücksichtigt, die im Forschungsbericht des IZT für das UBA „Anpassung von Energie- und Emissionsprognosewerten an das Energiemodell BEU“ [Jörß 2007] beschrieben sind, d.h. im wesentlichen Ausweitung des Bilanzrahmens bei Abfällen / Sekundärbrennstoffen (alle Sektoren) sowie bei Holzverbrennung in Haushalten.
- Für mobile Quellen wurden die Energieverbräuche einer aktuelleren Version des am UBA benutzten Verkehrsmodells TREMOD (vgl. Kap. 4.2.1 und [Knörr et al. 2005]) entnommen, nämlich TREMOD 4.17 anstelle von TREMOD 4. Außerdem wurde als Grundlage für die Immissionsmodellierung nach dem Inlandprinzip gearbeitet, d.h. die Ergebnisse von TREMOD 4.17 und TREMOD MM³ wurden NICHT wie in [UBA 2005] auf die Energiebilanz normiert. Parallel dazu wurde aber auch ein Datensatz des Energie-Referenzszenarios im Energiebilanzprinzip geführt, der somit unmittelbar mit den Energiedaten im UBA-Energiereferenzszenario von 2005 [UBA 2005] vergleichbar ist.

Eine detaillierte Darstellung des Referenz-Energieszenario für PAREST sowie weiterer in PAREST benutzter Energieszenarien findet sich in einem getrennten Teilbericht zu PAREST [Jörß und Degel 2010].

Das Referenz-Aktivitätsszenario für PAREST wurde ansonsten zur größtmöglichen Wahrung der Kompatibilität fast komplett übernommen aus früheren Studien für das Umweltbundesamt u.a. im Zusammenhang mit der Erstellung des Nationalen Programms von 2007 zur NEC-Richtlinie [UBA 2007] und ist zusammen mit den benutzten Emissionsfaktoren in [Jörß und Handke 2007] und [Jörß et al. 2007] dokumentiert.

³ UBA-Modell zur Berechnung der Emissionen aus mobilen Maschinen, vgl. Kap. 4.5 und [Lambrecht et al. 2004].

4 Überarbeitungen des ZSE-Basisdatensatzes

Die Überarbeitungen der ZSE-Datenbasis von 2007 betrafen neben den Korrekturen von offensichtlichen Datenfehlern im wesentlichen die Quellgruppen Landwirtschaft und mobile Quellen d.h. Straßenverkehr, Schiffsverkehr, Luftverkehr und mobile Maschinen in Haushalten/Gewerbe sowie Land-, Forst- und Bauwirtschaft.

4.1 Landwirtschaft

Die Schätzungen der landwirtschaftlichen Emissionen an NH₃, NO, NMVOC und PM für 2005 bis 2020 wurden im Rahmen von PAREST durch das vTI⁴ methodisch gegenüber [ZSE 2007] aktualisiert und sind in [Dämmgen et al. 2008] dokumentiert.

Den Effekt dieser Neuberechnung verdeutlicht Tabelle 1 am Beispiel Ammoniak.

Tabelle 1: Vergleich der landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen PAREST-REF mit [ZSE 2007]

Referenzszenario: Ammoniak - Emissionen in Deutschland [kt NH ₃]						
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020
4	Landwirtschaft	572	577	576	579	582
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	474	481	466	459	453
4 D	Landwirtschaftliche Böden	98	96	110	120	130
Datenstand: PAREST-Referenz / Neumodellierung des vTI Mai 2008						
Referenzszenario: Ammoniak - Emissionen in Deutschland [kt NH ₃]						
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015*	2020*
4	Landwirtschaft	596	590	583	583	583
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	498	494	488	488	488
4 D	Landwirtschaftliche Böden	98	96	96	96	96
* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 in ZSE 2007 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.						
Datenstand: ZSE 2007 basierend auf FAL, für 2000/2005 auch im NIR Mai 2008						
Änderung im Referenzszenario: Ammoniak (Landwirtschaft) - Emissionen in Deutschland durch die Neumodellierung des vTI Mai 2008 [kt NH ₃]						
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020
4	Landwirtschaft	-24	-13	-7	-4	-1
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	-24	-14	-22	-28	-35
4 D	Landwirtschaftliche Böden	1	0	15	24	34

⁴ Das vTI – Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei – ist im Rahmen des Nationalen Systems Emissionen für die offizielle Emissionsberichterstattung Deutschland zu landwirtschaftlichen Emissionen zuständig.

4.2 Straßenverkehr

4.2.1 Aktualisierung des Verkehrsmodells

Die verkehrsbedingten Emissionen im ZSE basieren auf dem vom Umweltbundesamt genutzten Modell TREMOD (Transport Emission Estimation Model, vgl. [Knörr et al 2005]). TREMOD enthält Emissionsschätzungen und Prognosen u.a. für Straßenverkehr, Schienenverkehr und Schiffsverkehr in Zeitreihen von 1990 bis 2030. TREMOD wird regelmäßig aktualisiert, um neueste Erkenntnisse bzw. Annahmen z. B. zu Flottenzusammensetzungen und Fahrleistungen zu integrieren. Der für PAREST benutzten ZSE-Version vom Sommer 2007 lag für den Verkehr die TREMOD-Version 4.16 zu Grunde. Da aber rechtzeitig für PAREST die Version TREMOD 4.17 am Umweltbundesamt zur Verfügung stand, wurden die entsprechenden Daten für die PAREST-Referenz aktualisiert.

Die TREMOD-Version 5.04 stand erst kurz vor Abschluss von PAREST zur Verfügung und wurde deshalb nicht in die PAREST-Referenz integriert, sondern als Sensitivitätsszenario gerechnet (vgl. [Kugler et al. 2010]). Ebenfalls in [Kugler et al. 2010] wird ein Vergleich der straßenverkehrsseitigen PAREST-Referenz mit dem europaweit genutzten Modell REMOVE (vgl. [De Ceuster et al. 2007]) vorgenommen.

Für technische Emissionsfaktoren (fahrzeugklassenspezifisch und fahrsituationspezifisch) greift TREMOD auf das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA⁵) zurück. Grundlage der in PAREST benutzten TREMOD-Versionen ist die Version 2.1 des HBEFA von 2004. Im Januar 2010 wurde die Version 3.1. des HBEFA veröffentlicht. Diese ist aber in keiner der in PAREST betrachteten TREMOD-Versionen berücksichtigt.

4.2.2 Inlandsprinzip und Energiebilanzprinzip

Im Modell TREMOD wird zwischen Treibstoffverbrauchs- und Emissionsdaten nach dem Inlandsprinzip und nach dem Energiebilanzprinzip unterschieden. Während gemäß Inlandsprinzip der Verbrauch bzw. die Emissionen auf deutschen Verkehrswegen bilanziert werden, liegen dem Energiebilanzprinzip die in Deutschland verkauften Treibstoffmengen zu Grunde. Die Abweichungen sind deutlich und liegen für den Straßenverkehr bei ca. 5%. Für den Zweck der internationalen Emissionsberichterstattung benutzt das UBA die Daten gemäß Energiebilanzprinzip, dementsprechend sind nur diese im ZSE enthalten⁶. Für die in PAREST vorgenommene Modellierung der Immissionen in Deutschland ist aber eine Datenbasis auf Grundlage des Inlandsprinzips aussagekräftiger⁷. Deshalb wurden in PAREST die Emissionsdaten parallel nach beiden Prinzipien gehalten:

⁵ HBEFA - Handbook of Emission Factors for Road Transport - <http://www.hbefa.net/>

⁶ in diesem Punkt gibt es allerdings eine Inkonsistenz in [ZSE 2007]: Die aus TREMOD stammenden Fahrleistungen für verschieden Fahrzeugkategorien, die im ZSE als Aktivitätsrate für die Berechnung der Abriebemissionen benutzt werden, sind nach dem Inlandsprinzip berechnet. Für die in PAREST erstellten Emissionsbilanzen nach dem Energiebilanzprinzip wurden diese Fahrleistungen nachträglich korrigiert

⁷ D.h. die z.B. außerhalb Deutschlands getankten, aber im Inland eingesetzten Treibstoffmengen werden für die Emissionsmodellierung nicht den Ländern des Betankens sondern den deutschen Verkehrswegen zugeordnet und umgekehrt.

Die Eingangsdaten der Immissionsmodellierung basierten auf dem Inlandsprinzip. Parallel dazu wurden Emissionsbilanzen nach dem Energiebilanzprinzip erstellt, die mit der internationalen Emissionsberichterstattung des UBA und auch z.B. den Anforderungen der NEC-Richtlinie [EC 2001] sinnvoll vergleichbar sind.

4.2.3 Wiederaufwirbelung von Straßenstaub

Neben Abgasemissionen enthält das ZSE für den Straßenverkehr noch PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Abriebemissionen (Straßenbelag-, Reifen- und Bremsenabrieb). Bisher nicht enthalten sind PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Emissionen aus der Wiederaufwirbelung von Straßenstaub, die für PAREST (Inlandsprinzip) zusätzlich abgeschätzt wurden.

Nur für die Inlandsbilanzierung wurde eine Schätzung der Wiederaufwirbelung mit in den Referenzdatensatz aufgenommen. Dazu wurden die Emissionsfaktoren aus [Schaap et al. 2009] benutzt. Die Faktoren entsprechen der Größenfraktion „ PM_{10} bis $PM_{2,5}$ “, zusätzlich war 1/9 dieser Zahlen als $PM_{2,5}$ anzusetzen ($PM_{10} = 10 * PM_{2,5}$). Die Wichtungparameter für außerorts, innerorts und Autobahn wurden (für jedes Jahr verschieden) aus TREMOD 4.17 entnommen. Relevanz hat dies nur für $PM_{2,5}$ und PM_{10} , die anderen betrachteten Schadstoffe bleiben unberührt.

Für die Emissionssummen im Energiebilanzprinzip blieb die Wiederaufwirbelung weiterhin unberücksichtigt.

4.2.4 Erweiterung des Referenzszenarios um Euro 5/6 für Pkw und LNF, Euro VI für SNF und LKW-Maut

Als Datengrundlage für Emissionen in Deutschland für die Jahre 2005, 2010, 2015 und 2020 diente in PAREST das Zentrale System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes. Für den Straßenverkehr wurden Ergebnisse des Verkehrsemissionsmodells TREMOD (vgl. Kap. 4.2.1) verwendet. TREMOD (Version 4.17) enthält Abgasemissionen bis Euro 4 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) sowie bis Euro V für schwere Nutzfahrzeuge (SNF). Abgasemissionen zu den Stufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und LNF, Abgasemissionen zu Euro VI für SNF sowie die Auswirkung der Einführung der Autobahnmaut waren nicht in der verwendeten TREMOD-Version berücksichtigt.

Das PAREST-Referenzszenario 2010-2020 wurde im Vergleich zu [UBA 2007] so verändert, dass die Maßnahmen „Einführung der Grenzwertstufen Euro 5 und 6 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge“, „Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge“ und „Bestehende Lkw-Maut inkl. Förderung der Anschaffung emissionsärmerer SNF“ in das Referenzszenario integriert und nicht mehr als zusätzliche Maßnahme behandelt wurden. Hintergrund ist, dass diese Maßnahmen – obwohl vom Gesetzgeber umgesetzt - noch nicht in der PAREST zugrunde liegenden TREMOD-Version (TREMOD 4.17) berücksichtigt waren.

Da TREMOD 4.17 zur detaillierten Modellierung in PAREST nicht zur Verfügung stand, wurde auf die für diese Maßnahmen in [Theloke et al. 2007] und [Jörß et al. 2007] berechneten Minderungspotenziale zurückgegriffen. Diese betreffen eine Reduktion von $PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_x und NMVOC durch Euro 5 und 6 für Pkw und LNF (Leichte Nutzfahrzeuge), eine Reduktion von PM_{10} , $PM_{2,5}$ und NO_x durch Euro VI für SNF (schwere Nutzfahrzeuge) sowie durch die

bestehende LKW-Maut. Die Maut verursacht zusätzlich Reduktionen von durch Abrieb und Wiederaufwirbelung bedingten PM₁₀- und PM_{2,5}-Emissionen.

Tabelle 2 stellt die auf dieser Basis berechneten Minderungseffekte bezogen auf Fahrzeugtyp und SNAP⁸ dar.

Tabelle 2: Minderungseffekte zur Erweiterung des Referenzszenarios um Euro 5/6 für Pkw und LNF, Euro VI für SNF und LKW-Maut

Fzg- typ	Name	Art	Schad- stoff	SNAP	2010	2015	2020
LNF	Euro 5 und 6 für Pkw und LNF	Antrieb	NMVOC	07_1 Road transport gasoline	-0,7%	-4,3%	-8,4%
PKW			NMVOC	07_1 Road transport gasoline	-2,9%	-11,2%	-19,0%
LNF			NOx	07_2 Road transport diesel	-3,3%	-20,8%	-45,9%
PKW			NOx	07_2 Road transport diesel	-6,2%	-27,2%	-51,0%
LNF			PM 10	07_2 Road transport diesel	-3,0%	-23,0%	-48,0%
PKW			PM 10	07_2 Road transport diesel	-3,0%	-23,0%	-48,0%
LNF			PM 2.5	07_2 Road transport diesel	-3,0%	-23,0%	-48,0%
PKW			PM 2.5	07_2 Road transport diesel	-3,0%	-23,0%	-48,0%
Busse	Euro VI für SNF und Lkw- Maut	Antrieb	NOx	07_2 Road transport diesel	-0,5%	-16,2%	-38,9%
SNF			NOx	07_2 Road transport diesel	-8,4%	-45,2%	-66,3%
Busse			PM 10	07_2 Road transport diesel	-4,0%	-40,0%	-66,0%
SNF			PM 10	07_2 Road transport diesel	-4,0%	-40,0%	-66,0%
Busse			PM 2.5	07_2 Road transport diesel	-4,0%	-40,0%	-66,0%
SNF			PM 2.5	07_2 Road transport diesel	-4,0%	-40,0%	-66,0%
SNF	LKW- Maut	Abrieb	PM 10	07_5 Road transport non- ehhaust (tire, brake and road wear)	0,0%	-5,0%	-5,0%
SNF			PM 2.5	07_5 Road transport non- ehhaust (tire, brake and road wear)	0,0%	-5,0%	-5,0%
SNF		Wieder- aufwir- belung	PM 10	07_6 Road transport non- ehhaust (resuspension)	0,0%	-5,0%	-5,0%
SNF			PM 2.5	07_6 Road transport non- ehhaust (resuspension)	0,0%	-5,0%	-5,0%

⁸ SNAP: Selected Nomenclature for Air Pollution, im Rahmen von Modellierungen gebräuchliches Kodierungssystem für emissionsverursachende technische Prozesse und Verfahren

4.3 Schifffahrt

Wie bereits in Kapitel 4.2.2 erwähnt unterscheidet das Modell TREMOD zwischen dem Inlandsprinzip und dem Energiebilanzprinzip. Dies gilt auch für den in TREMOD bilanzierten Binnenschiffsverkehr. Die Unterschiede sind für die Binnenschifffahrt besonders groß. Die Emissionen auf Grundlage des Energiebilanzprinzips liegen bei ca. der Hälfte der Emissionen auf Grundlage des Inlandsprinzips. Analog zum Vorgehen beim Straßenverkehr (Kap. 4.2.2) wurden in PAREST deshalb auch für die Binnenschifffahrt parallele Datensätze zum Zweck der Immissionsmodellierung (Inlandsprinzip) und Vergleichbarkeit mit internationaler Emissionsberichterstattung (Energiebilanzprinzip) angelegt.

Zusätzlich wurde für die PAREST-Referenz die TREMOD-Annahme zum Schwefelgehalt von Schiffsdiesel für das Basisjahr 2005 korrigiert, die zu niedrig war (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Annahmen zum Schwefelgehalt von Schiffsdiesel

Emittentengruppe	Material	Datensatz	Schadstoff	Wertetyp	Einheit	2005	2010	2020
Übrige Küsten- und Binnenschifffahrt	Dieselkraftstoff	TREMODO 4.17 / ZSE	SO ₂	EF	kg/TJ	0,37	0,37	0,37
				Gew.-% S	ppm S	8	8	8
		PAREST-REF	SO ₂	EF	kg/TJ	79,14	0,37	0,37
				Gew.-% S	ppm S	1.700	8	8

Anders als die Binnenschifffahrt wird der internationale Schiffsverkehr in der internationalen Emissionsberichterstattung nicht in Nationalen Emissionsmengen eingerechnet, sondern unter "international Bunkers" bilanziert, unabhängig davon, wo die Emissionen stattfinden. Deshalb sind zu solchen Emissionen auf deutschem Hoheitsgebiet auch kaum verwertbare Daten zu finden. Um diese Lücke zu schließen, wurde für PAREST zusätzlich zum ZSE der internationale Hochseeschiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen bilanziert. Details hierzu sind in [Thiruchittampalam et al. 2010 b] dokumentiert.

4.4 Ziviler Flugverkehr

Die ZSE-Datenbasis [ZSE 2007] basiert für die Berechnung der Emissionen aus dem zivilen Flugverkehr ebenfalls auf TREMOD und bezieht sich in Übereinstimmung mit den Regeln zur CO₂-Bilanzierung nur auf nationale Flüge. Dabei wird nicht zwischen Emissionen einerseits am Boden und in der Lande und Startphase (LTO – landing and take-off) und andererseits während des Betriebs auf Reiseflughöhe (Cruise) unterschieden. Für die Immissionsmodellierung in PAREST war es jedoch sinnvoller, LTO-Emissionen unabhängig vom Reiseziel (national vs. international) zu benutzen. Im Rahmen des Vorhabens wurde deshalb eine neue Methodik zur Schätzung der deutschen LTO-Emissionen auf Basis von Flugdaten der offiziellen europäischen (EUROSTAT) und deutschen (destatis) Statistikbehörden sowie von Emissionsfaktoren der ICAO⁹ und CORINAIR Guidebook [CORINAIR 2007] entwickelt. Details hierzu sind in [Thiruchittampalam et al. 2010 b] dokumentiert.

⁹ ICAO: International Civil Aviation Organization

Tabelle 4 verdeutlicht die Effekte der Neumodellierung in PAREST:

Tabelle 4: Emissionen und Treibstoffverbrauch des zivilen Flugverkehrs 2005

Emissionen und Treibstoffverbrauch des zivilen Flugverkehrs 2005								
Datenbasis	Flugphasen	Flugziel	kt NO _x	kt NMVOC	kt PM	kt SO ₂	kt NH ₃	TJ Kerosin
PAREST REF	LTO	nat + int	22,9	3,5	0,2	0,7	0,3	78.700
ZSE 2007	LTO + cruise	nat	22,5	2,6	NE	0,6	0,3	69.225

4.5 Mobile Maschinen

Emissionen aus mobilen Maschinen werden am Umweltbundesamt mit dem Modell TREMOD MM berechnet (vgl. [Lambrecht et al. 2004]). In TREMOD MM werden Emissionen aus mobilen Maschinen in Land- und Forstwirtschaft, Bauwirtschaft, Haushalte/Grünpflege und Sport- und Passagierbooten bilanziert. Die Ergebnisse aus TREMOD MM sind treibstoffseitig allerdings nicht mit der Energiebilanz kompatibel. Dementsprechend waren die TREMOD MM-Ergebnisse auch nur sehr rudimentär im ZSE 2007 enthalten. Für den PAREST Datensatz auf Grundlage des Inlandsprinzips wurde deshalb entschieden, die TREMOD MM-Ergebnisse mit minimalen Anpassungen¹⁰ direkt zu nutzen. Für den PAREST-Datensatz im Energiebilanzprinzip wurde eine lineare Skalierung auf die Rahmendaten der Energiebilanz vorgenommen. Die Daten im Energiebilanzprinzip sind somit konsistent zu früheren Berichten für das Umweltbundesamt ([Jörß und Handke 2007] und [Jörß et al. 2007]).

¹⁰ Lediglich die in TREMOD MM bilanzierten Mengen an Flüssiggaseinsatz in der Bauwirtschaft wurden mit den im ZSE bilanzierten Mengen an Flüssiggas in Energiebilanzzeile 67 "Gewerbe, Handel, Dienstleistungen" verrechnet, um Doppelzählungen zu vermeiden.

5 Ergebnisse der Emissionsbilanzierungen

Im Folgenden sind die Emissionszeitreihen im PAREST-Referenzszenario für die betrachteten Schadstoffe PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO_x, NMVOC und NH₃ dargestellt. Um Verwechslungen zu vermeiden, werden die Bilanzen in verschiedenen Systematiken dargestellt: Die Bilanzen im Inlandsprinzip (relevant für die Immissionsmodellierung) werden in der SNAP-Systematik dargestellt, die ja auch in den Ausbreitungsmodellen benutzt wird. Die Emissionen im Energiebilanzprinzip (Vergleich zu NEC und Emissionsberichterstattung) werden im für die internationale Emissionsberichterstattung üblichen NFR-Code dargestellt.

5.1 Berechnung nach dem Inlandsprinzip

Im Folgenden sind die Emissionen des Referenzszenarios nach dem Inlandsprinzip dargestellt. D.h. die hier dargestellten Summen gingen in die Modellierung der Immissionsituation in Deutschland ein.

Tabelle 5: PM10-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip

PM10 - Emissionen in Deutschland						
<i>Emissionsberechnung nach dem Inlandsprinzip</i>						
SNAP	Einheit	2000	2005	2010	2015	2020
01 Combustion in energy and transformation industries	Gg	12	11	10	10	10
02 Non-industrial combustion plants	Gg	27	29	29	31	33
03 Combustion in manufacturing industry	Gg	23	20	18	17	16
04 Production processes	Gg	57	52	44	43	43
05 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Gg	6	4	4	4	4
06 Solvent and other product use *	Gg	9	9	9	9	9
07 Road transport	Gg	92	90	83	78	78
08 Other mobile sources and machinery	Gg	27	21	16	11	8
09 Waste treatment and disposal	Gg	0	0	0	0	0
10 Agriculture	Gg	27	26	27	27	28
11 Other sources and sinks	Gg	-	-	-	-	-
Summe	Gg	280	262	240	231	228
07_1 Road transport gasoline	Gg	-	-	-	-	-
07_2 Road transport diesel	Gg	26	21	11	5	2
07_3 Road transport LPG	Gg	-	-	-	-	-
07_4 Road transport non-ehxaust (volatilisation)	Gg	-	-	-	-	-
07_5 Road transport non-ehxaust (tire, break and road wear)	Gg	19	20	21	21	22
07_6 Road transport non-ehxaust (resuspension)	Gg	47	49	51	52	53
04_01 Production processes, high altitude	Gg	19	19	14	13	12
04_02 Production processes, low altitude	Gg	38	34	30	30	30

* PM-Emissionen im Sektor SNAP 06 stammen aus Zigarettenrauch und Feuerwerk

Tabelle 6: PM_{2,5}-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip

PM2.5 - Emissionen in Deutschland						
<i>Emissionsberechnung nach dem Inlandsprinzip</i>						
SNAP	Einheit	2000	2005	2010	2015	2020
01 Combustion in energy and transformation industries	Gg	10	10	9	9	9
02 Non-industrial combustion plants	Gg	25	27	27	29	30
03 Combustion in manufacturing industry	Gg	11	9	8	8	8
04 Production processes	Gg	17	16	13	13	12
05 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Gg	1	1	1	1	1
06 Solvent and other product use *	Gg	9	9	9	9	9
07 Road transport	Gg	40	37	28	21	19
08 Other mobile sources and machinery	Gg	27	21	16	11	8
09 Waste treatment and disposal	Gg	0	0	0	0	0
10 Agriculture	Gg	6	6	6	6	6
11 Other sources and sinks	Gg	-	-	-	-	-
Summe	Gg	148	136	116	106	101
07_1 Road transport gasoline	Gg	-	-	-	-	-
07_2 Road transport diesel	Gg	26	21	11	5	2
07_3 Road transport LPG	Gg	-	-	-	-	-
07_4 Road transport non-ehxaust (volatilisation)	Gg	-	-	-	-	-
07_5 Road transport non-ehxaust (tire, break and road wear)	Gg	10	11	11	12	12
07_6 Road transport non-ehxaust (resuspension)	Gg	5	5	5	5	5
04_01 Production processes, high altitude	Gg	9	9	7	6	6
04_02 Production processes, low altitude	Gg	8	7	6	6	6

* PM-Emissionen im Sektor SNAP 06 stammen aus Zigarettenrauch und Feuerwerk

Tabelle 7: SO₂-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip

SO₂ - Emissionen in Deutschland						
<i>Emissionsberechnung nach dem Inlandsprinzip</i>						
SNAP	Einheit	2000	2005	2010	2015	2020
01 Combustion in energy and transformation industries	Gg	325	290	237	248	257
02 Non-industrial combustion plants	Gg	96	78	48	42	36
03 Combustion in manufacturing industry	Gg	60	65	62	62	62
04 Production processes	Gg	126	118	101	96	91
05 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Gg	10	8	6	6	6
06 Solvent and other product use	Gg	-	-	-	-	-
07 Road transport	Gg	17	1	1	1	1
08 Other mobile sources and machinery	Gg	5	3	1	1	1
09 Waste treatment and disposal	Gg	0	0	0	0	0
10 Agriculture	Gg	-	-	-	-	-
11 Other sources and sinks	Gg	-	-	-	-	-
Summe	Gg	640	562	456	456	455
07_1 Road transport gasoline	Gg	4	0	0	0	0
07_2 Road transport diesel	Gg	13	0	1	1	1
07_3 Road transport LPG	Gg	-	-	-	-	-
07_4 Road transport non-ehxaust (volatilisation)	Gg	-	-	-	-	-
07_5 Road transport non-ehxaust (tire, break and road wear)	Gg	-	-	-	-	-
07_6 Road transport non-ehxaust (resuspension)	Gg	-	-	-	-	-
04_01 Production processes, high altitude	Gg	126	118	101	96	91
04_02 Production processes, low altitude	Gg	-	-	-	-	-

Tabelle 8: NO_x-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip

NO_x - Emissionen in Deutschland						
<i>Emissionsberechnung nach dem Inlandsprinzip</i>						
SNAP	Einheit	2000	2005	2010	2015	2020
01 Combustion in energy and transformation industries	Gg	268	283	258	269	282
02 Non-industrial combustion plants	Gg	109	102	105	99	93
03 Combustion in manufacturing industry	Gg	66	71	69	67	65
04 Production processes	Gg	107	91	73	70	67
05 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Gg	-	-	-	-	-
06 Solvent and other product use	Gg	-	-	-	-	-
07 Road transport	Gg	842	684	457	254	164
08 Other mobile sources and machinery	Gg	259	233	201	173	150
09 Waste treatment and disposal	Gg	0	0	0	0	0
10 Agriculture	Gg	86	81	83	82	82
11 Other sources and sinks	Gg	-	-	-	-	-
Summe	Gg	1.736	1.544	1.246	1.015	904
07_1 Road transport gasoline	Gg	233	112	53	29	24
07_2 Road transport diesel	Gg	610	571	405	225	140
07_3 Road transport LPG	Gg	-	-	-	-	-
07_4 Road transport non-ehxaust (volatilisation)	Gg	-	-	-	-	-
07_5 Road transport non-ehxaust (tire, break and road wear)	Gg	-	-	-	-	-
07_6 Road transport non-ehxaust (resuspension)	Gg	-	-	-	-	-
04_01 Production processes, high altitude	Gg	107	91	73	70	67
04_02 Production processes, low altitude	Gg	-	-	-	-	-

Tabelle 9: NMVOC-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip

NMVOC - Emissionen in Deutschland						
<i>Emissionsberechnung nach dem Inlandsprinzip</i>						
SNAP	Einheit	2000	2005	2010	2015	2020
01 Combustion in energy and transformation industries	Gg	8	8	8	8	8
02 Non-industrial combustion plants	Gg	78	85	85	91	95
03 Combustion in manufacturing industry	Gg	4	4	4	4	4
04 Production processes	Gg	89	86	80	79	78
05 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Gg	40	25	17	14	12
06 Solvent and other product use	Gg	822	743	685	736	800
07 Road transport	Gg	276	153	109	90	82
08 Other mobile sources and machinery	Gg	88	78	71	53	47
09 Waste treatment and disposal	Gg	-	-	-	-	-
10 Agriculture	Gg	253	255	255	255	255
11 Other sources and sinks	Gg	-	-	-	-	-
Summe	Gg	1.658	1.438	1.314	1.328	1.381
07_1 Road transport gasoline	Gg	184	92	54	35	26
07_2 Road transport diesel	Gg	41	38	40	43	45
07_3 Road transport LPG	Gg	-	-	-	-	-
07_4 Road transport non-ehxaust (volatilisation)	Gg	50	23	15	12	11
07_5 Road transport non-ehxaust (tire, break and road wear)	Gg	-	-	-	-	-
07_6 Road transport non-ehxaust (resuspension)	Gg	-	-	-	-	-
04_01 Production processes, high altitude	Gg	89	86	80	79	78
04_02 Production processes, low altitude	Gg	-	-	-	-	-

Tabelle 10: NH₃-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Inlandsprinzip

NH₃ - Emissionen in Deutschland						
<i>Emissionsberechnung nach dem Inlandsprinzip</i>						
SNAP	Einheit	2000	2005	2010	2015	2020
01 Combustion in energy and transformation industries	Gg	3	3	3	3	3
02 Non-industrial combustion plants	Gg	3	3	3	3	3
03 Combustion in manufacturing industry	Gg	1	1	1	1	1
04 Production processes	Gg	10	10	10	10	10
05 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Gg	-	-	-	-	-
06 Solvent and other product use	Gg	2	2	2	2	2
07 Road transport	Gg	12	11	9	8	8
08 Other mobile sources and machinery	Gg	1	1	1	1	1
09 Waste treatment and disposal	Gg	-	-	-	-	-
10 Agriculture	Gg	572	577	576	579	582
11 Other sources and sinks	Gg	-	-	-	-	-
Summe	Gg	604	607	605	607	609
07_1 Road transport gasoline	Gg	12	10	8	7	7
07_2 Road transport diesel	Gg	0	1	1	1	1
07_3 Road transport LPG	Gg	-	-	-	-	-
07_4 Road transport non-ehxaust (volatilisation)	Gg	-	-	-	-	-
07_5 Road transport non-ehxaust (tire, break and road wear)	Gg	-	-	-	-	-
07_6 Road transport non-ehxaust (resuspension)	Gg	-	-	-	-	-
04_01 Production processes, high altitude	Gg	10	10	10	10	10
04_02 Production processes, low altitude	Gg	-	-	-	-	-

5.2 Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

Im Folgenden sind die Emissionen des Referenzszenarios nach dem Energiebilanzprinzip dargestellt. Diese Daten wurden in der Ausbreitungsrechnung nicht berücksichtigt, sondern dienen der Vergleichbarkeit mit der internationalen Emissionsberichterstattung des Umweltbundesamtes, mit Anforderungen z.B. der NEC-Richtlinie [EC 2001] und früheren Forschungsberichten an das UBA, z.B. [Jörß und Handke 2007] und [Jörß et al. 2007].

Tabelle 11: PM₁₀-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

PM ₁₀ - Emissionen in Deutschland [Gg]							
<i>Emissionsberechnung nach dem Energiebilanzprinzip</i>							
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020	Reduktion 2000 bis 2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	86	75	59	52	49	
1 A 1	Energieindustrie	12	11	10	10	10	
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	2	2	2	1	1	
1 A 3	Transport	36	25	14	6	4	
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	36	36	34	34	34	
1 A 5	Andere: Militär	0	0	0	0	0	
1 B	Flüchtige Brennstoffemissionen	1	1	0	0	0	
1 B 1	Feste Brennstoffe	1	1	0	0	0	
2	Industrieprozesse	48	44	38	37	35	
2 A	Mineralstoffindustrie	15	13	13	13	13	
2 B	Chemische Industrie	1	0	0	0	0	
2 C	Metallproduktion	30	29	23	22	20	
2 D	Andere Industrieprozesse	2	2	2	2	2	
4	Landwirtschaft	20	20	22	22	23	
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	19	19	21	21	22	
4 D	Bewirtschaftung von Ackerland	1	1	1	1	1	
6	Abfallwirtschaft	0	0	0	0	0	
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0	0	0	0	0	
7	Sonstiges	73	65	61	62	62	
7 A	Schüttgutumschlag	31	24	23	23	23	
7 B	Straßenverkehr - Abrieb	20	19	20	20	21	
7 C	Sonstiges *	22	22	19	19	18	
	Summe	227	204	181	173	171	25%

* Feuerwerk, Grillen, Zigarettenrauch und Gewerbe/Tischlereien

Tabelle 12: PM_{2,5}-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

PM _{2,5} - Emissionen in Deutschland [Gg]							
<i>Emissionsberechnung nach dem Energiebilanzprinzip</i>							
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020	Reduktion 2000 bis 2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	82	71	56	49	46	
1 A 1	Energieindustrie	10	10	9	9	9	
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	2	2	1	1	1	
1 A 3	Transport	36	25	14	6	4	
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	34	34	32	32	32	
1 A 5	Andere: Militär	0	0	0	0	0	
1 B	Flüchtige Brennstoffemissionen	0	0	0	0	0	
1 B 1	Feste Brennstoffe	0	0	0	0	0	
2	Industrieprozesse	19	17	14	13	13	
2 A	Mineralstoffindustrie	6	4	4	4	4	
2 B	Chemische Industrie	0	0	0	0	0	
2 C	Metallproduktion	11	11	9	8	7	
2 D	Andere Industrieprozesse	1	1	1	1	1	
4	Landwirtschaft	5	5	5	5	5	
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	5	5	5	5	5	
4 D	Bewirtschaftung von Ackerland	-	-	-	-	-	
6	Abfallwirtschaft	0	0	0	0	0	
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0	0	0	0	0	
7	Sonstiges	31	29	28	29	29	
7 A	Schüttgutumschlag	6	5	5	5	5	
7 B	Straßenverkehr - Abrieb	11	10	11	11	11	
7 C	Sonstiges *	14	14	13	13	13	
	Summe	137	122	103	96	92	33%

* Feuerwerk, Grillen, Zigarettenrauch und Gewerbe/Tischlereien

Tabelle 13: SO₂-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

Referenzszenario: Schwefeldioxid - Emissionen in Deutschland [Gg SO ₂]							
<i>Emissionsberechnung nach dem Energiebilanzprinzip</i>							
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020	Reduktion 2000 bis 2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	501	432	347	351	355	
1 A 1	Energieindustrie	325	290	237	248	257	
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	57	63	60	60	61	
1 A 3	Transport	22	2	1	1	1	
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	96	77	48	42	36	
1 A 5	Andere: Militär	1	0	0	0	0	
1 B	Flüchtige Brennstoffemissionen	20	15	10	10	10	
1 B 2	Öl und Erdgas	20	15	10	10	10	
2	Industrieprozesse	118	113	99	94	89	
2 A	Mineralstoffindustrie	29	22	24	24	24	
2 B	Chemische Industrie	25	26	15	15	15	
2 C	Metallproduktion	44	43	37	31	26	
2 D	Andere Industrieprozesse	20	22	24	24	24	
6	Abfallwirtschaft	0	0	0	0	0	
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0	0	0	0	0	
	Summe	640	560	456	455	454	29%
	Emissionsobergrenze der NEC-RL			520			
	Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) NEC			-64			

Tabelle 14: NO_x-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

Referenzszenario: Stickoxid - Emissionen in Deutschland [Gg NO ₂]							
Emissionsberechnung nach dem Energiebilanzprinzip							
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020	Reduktion 2000 bis 2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	1.590	1.248	975	772	677	
1 A 1	Energieindustrie	266	280	256	268	280	
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	61	68	65	63	62	
1 A 3	Transport	1.089	737	498	302	212	
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	163	152	146	129	113	
1 A 5	Andere: Militär	10	11	10	10	10	
2	Industrieprozesse	111	94	76	74	71	
2 A	Mineralstoffindustrie	70	54	48	47	47	
2 B	Chemische Industrie	4	8	2	2	2	
2 C	Metallproduktion	36	31	25	23	20	
2 D	Andere Industrieprozesse	0	1	1	1	1	
4	Landwirtschaft*	86	81	83	82	82	
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	1	1	1	1	1	
4 D	Landwirtschaftliche Böden*	85	80	81	81	81	
6	Abfallwirtschaft	0	0	0	0	0	
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0	0	0	0	0	
	Summe	1.787	1.423	1.135	929	830	54%
	Summe NEC-relevant*	1.701	1.342	1.052	846	748	56%
	Emissionsobergrenze der NEC-RL			1.051			
	Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) NEC			1			

* Die Modellrechnungen mit dem RAINS-Modell¹¹, auf deren Basis die Emissionsobergrenzen der NEC-Richtlinie bestimmt wurden, berücksichtigten keine NO_x-Emissionen der Landwirtschaft¹². Deshalb werden diese von Deutschland berichteten Emissionen im vorliegenden Bericht bei der Beurteilung der Einhaltung der Emissionsobergrenzen NICHT berücksichtigt¹³.

¹¹ RAINS – Regional Air Pollution and Simulation – wird betrieben am IIASA, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich. Zugang zum Modell: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb>

¹² Vgl. auch [Cofala und Syri 1998]

¹³ Dieses Vorgehen ist konsistent zu [UBA 2007].

Tabelle 15: NMVOC-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

Referenzszenario: NMVOC - Emissionen in Deutschland [Gg NMVOC]							
Emissionsberechnung nach dem Energiebilanzprinzip							
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020	Reduktion 2000 bis 2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	419	289	240	217	212	
1 A 1	Energieindustrie	8	8	8	8	8	
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	3	3	3	3	3	
1 A 3	Transport	293	159	112	93	86	
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	111	115	113	108	110	
1 A 5	Andere: Militär	4	4	4	4	4	
1 B	Flüchtige Brennstoffemissionen	66	47	36	33	31	
1 B 1	Feste Brennstoffe	1	1	1	1	0	
1 B 2	Öl und Erdgas	65	46	36	32	31	
2	Industrieprozesse	64	65	62	60	59	
2 A	Mineralstoffindustrie	19	17	17	17	17	
2 B	Chemische Industrie	5	5	4	4	4	
2 C	Metallproduktion	8	7	5	4	3	
2 D	Andere Industrieprozesse	33	36	35	35	35	
3	Produktanwendungen	822	743	685	736	800	
3 A	Lackierung	314	346	275	297	319	
3 B	Entfettung, Chemische Reinigung	43	43	37	40	43	
3 C	Herstellung und Anwendung chemischer Produkte	46	47	44	48	55	
3 D	Andere	418	307	329	351	382	
4	Landwirtschaft*	253	255	255	255	255	
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	253	255	255	255	255	
4 D	Landwirtschaftliche Böden*	0	0	0	0	0	
	Summe	1.624	1.399	1.278	1.301	1.357	16%
	Summe NEC-relevant*	1.371	1.144	1.023	1.046	1.102	20%
	Emissionsobergrenze der NEC-RL			995			
	Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) NEC			28			

* Die Modellrechnungen mit dem RAINS-Modell¹⁴, auf deren Basis die Emissionsobergrenzen der NEC-Richtlinie bestimmt wurden, berücksichtigten keine NMVOC-Emissionen der Landwirtschaft¹⁵. Deshalb werden diese von Deutschland berichteten Emissionen im vorliegenden Bericht bei der Beurteilung der Einhaltung der Emissionsobergrenzen NICHT berücksichtigt¹⁶.

¹⁴ RAINS – Regional Air Pollution and Simulation – wird betrieben am IIASA, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich. Zugang zum Modell: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb>

¹⁵ Vgl. auch [Klimont et al. 2000]

¹⁶ Dieses Vorgehen ist konsistent zu [UBA 2007].

Tabelle 16: NH₃-Emissionen des PAREST-Referenzszenarios, Berechnung nach dem Energiebilanzprinzip

Referenzszenario: Ammoniak - Emissionen in Deutschland [Gg NH₃]							
<i>Emissionsberechnung nach dem Energiebilanzprinzip</i>							
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020	Reduktion 2000 bis 2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	19	18	16	15	15	
1 A 1	Energieindustrie	3	3	3	3	3	
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	1	1	1	1	1	
1 A 3	Transport	12	10	9	8	7	
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	3	3	3	3	3	
1 A 5	Andere: Militär	0	0	0	0	0	
2	Industrieprozesse	10	10	10	10	10	
2 A	Mineralstoffindustrie	1	1	1	1	1	
2 B	Chemische Industrie	9	8	8	8	8	
2 C	Metallproduktion	0	0	0	0	0	
2 D	Andere Industrieprozesse	-	-	-	-	-	
3	Produktanwendungen	2	2	2	2	2	
3 D	Andere	2	2	2	2	2	
4	Landwirtschaft	572	577	576	579	582	
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	474	481	466	459	453	
4 D	Landwirtschaftliche Böden	98	96	110	120	130	
	Summe	603	606	604	606	609	-1%
	Emissionsobergrenze der NEC-RL			550			
	Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) NEC			54			

6 Literatur

- [Bultjes et al. 2010] Peter Bultjes, Jochen Theloke, Rainer Stern, Wolfram Jörß (2010): PAREST-Endbericht, Schlussbericht an das Umweltbundesamt zum Forschungsvorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [Cofala und Syri 1998] Cofala, J. and Syri, S. (1998) Nitrogen oxides emissions, abatement technologies and related costs for Europe in the RAINS model database. IR-98-88, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- [CORINAIR 2007] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007, EEA Technical report No 16/2007, Copenhagen, 2007;
<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5>
- [Dämmgen et al. 2008] U. Dämmgen, H.-D. Haenel und C. Rösemann (vTI-AK), B. Eurich-Menden, E. Grimm, H. Döhler (KTBL), J. Hahne (vTI-AB) (2008): „Teilbericht Landwirtschaftliche Emissionen“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [De Ceuster et al. 2007] De Ceuster, G., van Herbruggen, B., Ivanova, O., Carlier, K., Martino, A. und D. Fiorello (2007): REMOVE. Service contract for the further development and application of the transport and environmental REMOVE model. Lot 1 (Improvement of the data set and model structure), Service Contract 070501/2005/420798/MAR/C1. Final Report, European Commission, Directorate General Environment, Brüssel
- [Denier van der Gon et al. 2009] H.AC. Denier van der Gon, A.J.H. Visschedijk, H. van der Brugh (2009): „Gridded European emission data for projection years 2010, 2015 and 2020“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [Denier van der Gon et al. 2010] H.AC. Denier van der Gon, A.J.H. Visschedijk, H. van der Brugh, R. Droge (2010): „A high resolution European emission data base for the year 2005“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [EC 2001] Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmenge für bestimmte Luftschadstoffe (NEC-Richtlinie)
- [IPCC 2006] Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K., et al. (Hg.). “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan
- [Jörß 2007] W. Jörß (2007): „Anpassung von Energie- und Emissionsprognosewerten an das Energiemodell BEU“; Forschungsbericht an das Umweltbundesamt, FKZ 360 16 007, März 2007, Berlin: IZT

- [Jörß 2010] W. Jörß (2010): „Emissionen aus Offener Verbrennung in Deutschland“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT
- [Jörß et al. 2007] Jörß, W., Handke, V., Lambrecht, U. und F. Dünnebeil (2007): „Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000-2020“. Forschungsbericht an das Umweltbundesamt, FKZ 204 42 202/2, UBA-TEXTE Nr. 38/2007. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- [Jörß und Degel 2010] W. Jörß und M. Degel (2010): „Energieszenarien für PAREST“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT
- [Jörß und Handke 2007] Jörß, Wolfram und Handke, Volker (2007): „Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC-Richtlinie - Teil 2: Referenzszenario 2000 – 2020 für Emissionen unter der NEC-Richtlinie (SO₂, NO_x, NMVOC und NH₃)“. Forschungsbericht an das Umweltbundesamt, FKZ 205 42 221, UBA-TEXTE Nr. 36/2007. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- [Jörß und Handke 2010] W. Jörß und V. Handke (2010): „Unsicherheiten der PAREST-Referenz-Emissionsdatenbasis“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT
- [Kerschbaumer 2010 a] Andreas Kerschbaumer (2010): „Meteorologie – Vergleich zum besseren Verständnis der unterschiedlichen Schadstoffkonzentrationsimulationen mit verschiedenen Chemie-Transport-Modellen“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Kerschbaumer 2010 b] Andreas Kerschbaumer (2010): „Abhängigkeit der RCG-Simulationen von unterschiedlichen meteorologischen Treibern“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Klimont et al. 2000] Klimont, Z., Amann, M. and Cofala, J. (2000) Estimating Costs for Controlling Emissions of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources in Europe. IR-00-51, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- [Knörr et al. 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
- [Kugler et al. 2010] U. Kugler, W. Jörß, J. Theloke (2010): „Verkehrsemissionsmodellierung für PAREST – Modellvergleich und Alternative Szenarien“; Forschungs-Teilbericht

an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“

- [Lambrecht et al. 2004] Udo Lambrecht, Hinrich Helms, Kathrin Kullmer, Wolfram Knörr (2004): „Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen“ (TREMOMM): Forschungsbericht an das Umweltbundesamt, FKZ 29945113; Heidelberg, 2004
- [Schaap et al. 2009] M. Schaap, A.M.M. Manders, E.C.J. Hendriks, J.M. Cnossen, A.J.S. Seegers, H.A.C. Denier van der Gon, M. Jozwicka, F. Sauter, G. Velders, J. Mathijssen, P.J.H. Builtjes (2009): Regional Modelling of Particulate Matter for the Netherlands. Technical Report BOP, research carried out for Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), Bilthoven, Niederlande
- [Stern 2010 a] R. Stern (2010): “Bewertung von Emissionsminderungsszenarien mit Hilfe chemischer Transportberechnungen: PM10- und PM2.5-Minderungspotenziale von Maßnahmenpaketen zur weiteren Reduzierung der Immissionen in Deutschland“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Stern 2010 b] R. Stern (2010): “Bewertung von Emissionsminderungsszenarien mit Hilfe chemischer Transportberechnungen: Verkehrsmodell TREMOD und Verkehrsmodell TREMOVE“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Stern 2010 c] Stern, R. (2010) „Analyse der Unsicherheiten/Bandbreiten in der im PAREST-Projekt verwendeten Kausalkette Emission-Transmission-Immission“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin
- [Theloke et al. 2007] Theloke, J., Calaminus, B., Dünnebeil, F., Friedrich, R., Helms, H., Kuhn, A., Lambrecht, U., Niklaß, D., Pregger, T., Reis, S., Wenzel, S. (2007): „Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmenge der NEC-Richtlinie – Teil 1: Maßnahmen zur weiteren Verminderung der Emissionen an NO_x und SO₂ und NMVOC in Deutschland, Forschungsbericht an das Umweltbundesamt, FKZ 205 42 221, UBA-TEXTE Nr. 36/2007. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- [Theloke et al. 2010] J. Theloke, U. Kugler, W. Jörß, B. Thiruchittampalam, T. Geftler, M. Uzbasich (2010): „Beschreibung der maßnahmenbasierten Minderungsszenarien in PAREST“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [Thiruchittampalam et al. 2010 a] B. Thiruchittampalam, R. Köble, J. Theloke, U. Kugler, M. Uzbasich, T. Geftler (2010): „Dokumentation des PAREST Emissionsverteil-

lungsmodells für Deutschland“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“

- [Thiruchittampalam et al. 2010 b] B. Thiruchittampalam, W. Jörß, J. Theloke (2010): „Dokumentation der Emissionsmodellierung für LTO-Emissionen und internationale Binnenschifffahrt“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [UBA 2005] Umweltbundesamt (2005): Energiereferenzszenario 2000-2020 für Emissionsberechnungen des Umweltbundesamtes, UBA-TEXTE Nr. 30/2005, Dessau: Umweltbundesamt
- [UBA 2007] Umweltbundesamt (2007): „Luftreinhaltung 2010 – Nationales Programm zur Verminderung der Ozonkonzentration und zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen – Programm gemäß § 8 der 33. BImSchV und der Richtlinie 2001/81/EG (NEC RL)“; UBA-TEXTE Nr. 37/2007. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- [ZSE 2007] Zentrales System Emissionen (ZSE), Emissionsdatenbank des Umweltbundesamtes mit dem Stand vom 08.06.2007