

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
- Luftreinhaltung -

Forschungsberichtes 105 06 095
UBA-FB 96-087

Texte
73
96
ISSN
0722-186X

Berechnungen der direkten Emissionen des Straßen- verkehrs in Deutschland im Zeitraum 1995 bis 2010

**unter Verwendung von Kraftstoffen
geänderter Zusammensetzung**

von

Matthias Tappe
Axel Friedrich

Umweltbundesamt

und

Ulrich Höpfner
Wolfgang Knörr

IFEU-Institut Heidelberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von DM 15,- DM
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **TEXTE-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285

Redaktion: Fachgebiet I 2.4
Dr. Matthias Tappe

Berlin, Oktober 1996

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 96-087	2.	3.
4. Titel des Berichts Berechnungen der direkten Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland im Zeitraum 1995 bis 2010 unter Verwendung von Kraftstoffen geänderter Zusammensetzung		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Tappe, Mattias, Friedrich, Axel, UBA, Berlin Höpfner, Ulrich, Knörr, Wolfram IFEU, Heidelberg		8. Abschlußdatum August 96
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) IFEU - Institut Heidelberg, Wilckensstr. 3 D - 69120 Heidelberg		9. Veröffentlichungsdatum September 96
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		10. UFOPLAN-Nr. 105 06 095
		11. Seitenzahl 44
		12. Literaturangaben 21
		13. Tabellen und Diagramme 22
		14. Abbildungen 7
15. Zusätzliche Angaben veröffentlicht als TEXTE 73/96		
16. Kurzfassung Es wurden die Auswirkungen von Kraftstoffqualitätsverbesserungen auf die verkehrsbedingten Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland untersucht. Um zu quantitativen Aussagen zu kommen, wurden vom Heidelberger ifeu-Institut in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt Berechnungen der Emissionen des Straßenverkehrs unter der Annahme verschiedener Kraftstoffqualitäten für den Fahrzeugbestand in Deutschland durchgeführt. Neben dem Vorschlag der EU-Kommission vom Mai 1996 (Kommissionsvorschlag) und dem Vorschlag des deutschen Umweltbundesamtes (Vorschlag UBA) sind dies weiterhin ein Ottokraftstoff entsprechend dem kalifornischen RFG II und ein Dieseldkraftstoff entsprechend dem schwedischen EC1. Für die Berechnungen wurde das "Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2010" verwendet und dabei zwei Szenarien, Euro II und Euro III, für die Emissionen von HC, CO, NOx und Benzol für alle Kfz sowie von Dieseldrußpartikeln für Dieseld-Fzge betrachtet. Für den Gesamtstraßenverkehr (Otto- und Dieseldfahrzeuge) können durch den Vorschlag UBA bei allen aufgeführten Schadstoffen Minderungen erreicht werden, besonders für Benzol (35%, im Innerortsbereich 40%) und für Dieseldpartikel (12%) (HC 10%, CO 14%). Die Berechnungen zeigen auch, daß mit den Vorschlag UBA-Kraftstoffen kein Anstieg der NOx-Emissionen zu erwarten ist, sondern im Gegenteil sogar eine leichte Minderung, während bei der Umsetzung des Kommissionsvorschlags fast keine Veränderung gegenüber dem Basisfall auftritt. Die oben aufgeführten Maßnahmen zu den Kraftstoffqualitätsverbesserungen lassen sich mit relativ kurzen Vorlaufzeiten technisch realisieren und sind ökonomisch tragbar.		
17. Schlagwörter Straßenverkehrsemissionen, Ottokraftstoffreformulierung, Dieseldkraftstoffreformulierung, Emissionsfaktoren, Benzol, Dieseldrußpartikel		
18. Preis DM 15,-	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 96-087	2.	3.
4. Report Title Model Calculations of the Direct Emissions of Road Traffic in Germany for the Period 1995 to 2010 using Reformulated Fuels		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Tappe, Mattias, Friedrich, Axel, UBA, Berlin Höpfner, Ulrich, Knörr, Wolfram IFEU, Heidelberg	8. Report Date August 1996	
6. Performing Organisation (Name, Address) IFEU - Institut Heidelberg, Wilckensstr. 3 D - 69120 Heidelberg	9. Publication Date September 1996	
	10. UFOPLAN-Ref. No. 105 06 095	
	11. No. of Pages 44	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. No. of Reference 21	
	13. No. of Tables, Diagrams 22	
	14. No. of Figures 7	
	15. Supplementary Notes published as TEXTE 73/96	
16. Abstract The effects of fuel quality improvements on the traffic related emissions in Germany were studied. To generate quantitative data the ifeu institute Heidelberg together with the UBA performed model calculations of the direct emissions of road traffic for the German vehicle population assuming different fuel qualities. Besides the proposal of the European Commission from May 1996 (commission proposal) and the proposal of the German Federal Environmental Agency (Proposal UBA) a gasoline corresponding to the Californian RFG II and a diesel fuel corresponding to the Swedish EC 1 were modelled. For the model calculations the „Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2010“ was used and two scenarios, Euro II and Euro III, for the emissions of HC, CO, NOx and benzene for all vehicles and particulates for diesel vehicles were calculated. For the total road traffic (gasoline and diesel vehicles) the fuels proposal UBA lead to reductions for the mentioned pollutants, especially for benzene (35%, in the inner city area 40%) and for diesel particulates (12%) (HC 10%, CO 14%). The calculations also show that with the proposal UBA-fuels no increase in NOx emissions is to be expected but a slight reduction by 3%, whereas the implementation of the commission proposal would result in nearly no change compared to the base case. The described measures for fuel quality improvements can be realised with a relative short lead time and are economically feasible.		
17. Keywords road traffic emissions, gasoline reformulation, diesel fuel reformulation, emission factors, benzene, diesel particulates		
18. Price DM 15,--	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

I Zusammenfassung und Ausblick.....	3
1 Einleitung	5
2 Zusammenfassung: Emissionen des Straßenverkehrs 1995-2010	7
3 Grundannahmen der Berechnungen.....	13
3.1 Daten- und Rechenmodell	13
3.2 Kraftstoffqualitätsszenarien.....	17
3.3 Grundlagen der Ableitung der Minderungsfaktoren.....	18
4 Ableitung der Minderungsfaktoren und deren Auswirkungen auf die verkehrsbeding-	
ten Emissionen für Ottokraftstoffe	20
4.1 Ableitung der Minderungsfaktoren	20
4.1.1 Gesamtkohlenwasserstoffe	21
4.1.2 Benzol-Minderung im Abgas beim Ottomotorfahrzeug	22
4.1.3 Verdunstungs/Verdrängungsemissionen beim Ottokraftstoff.....	23
4.1.4 CO-Minderung im Abgas beim Ottomotorfahrzeug.....	24
4.1.5 NO _x -Minderung im Abgas beim Ottomotorfahrzeug	25
4.1.6 Tabellen der abgeleiteten Minderungsfaktoren für Otto-Fahrzeuge (relativ zum Ba-	
siskraftstoff).....	27
4.2 Auswirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen für Ottokraftstoffe.....	28
5 Ableitung der Minderungsfaktoren und deren Auswirkungen auf die verkehrsbeding-	
ten Emissionen für Dieselmotorfahrzeuge	32
5.1 Ableitung der Minderungsfaktoren	32
5.2 Auswirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen für Dieselmotorfahrzeuge.....	35
6 Anhang I	39
7 Abkürzungsverzeichnis.....	41
8 Literatur	43

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden die Auswirkungen von Kraftstoffqualitätsverbesserungen und schärferen Abgasgrenzwerten auf die verkehrsbedingten Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland untersucht. Neben dem Vorschlag der EU-Kommission vom Mai 1996 und dem Vorschlag des deutschen Umweltbundesamtes UBA) sind dies weiterhin ein Ottokraftstoff entsprechend dem kalifornischen RFG II und ein Dieseldieselkraftstoff entsprechend dem schwedischen EC1.

Um zu quantitativen Aussagen zu kommen, wurden vom Umweltbundesamt Annahmen formuliert, wie sich die verschiedenen Kraftstoffqualitäten auf die Emissionsfaktoren der Kfz auswirken, und vom Heidelberger IFEU-Institut die entsprechenden Berechnungen der Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland durchgeführt. Dazu wurde das vom IFEU im UBA-Auftrag entwickelte „Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2010“ verwendet. Zur Abbildung der zukünftigen Entwicklung wurden zwei Szenarien, Euro II und Euro III, berechnet, von denen aus die Änderungen infolge geänderter Kraftstoffqualitäten berechnet wurden.

Bei der Nutzung von **Ottokraftstoff** ergeben sich durch die verschiedenen Kraftstoffqualitäten keine gravierenden Unterschiede in den Emissionen von Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickstoffoxiden. Die Kraftstoffe der Spezifikationen „Vorschläge UBA“ und „Kalifornien“ führen zu etwas geringeren Emissionen. Bei der hauptsächlich durch Otto-Fahrzeuge verursachten Benzolemission erreicht der Kommissionsvorschlag nur eine geringe Minderung von 8%, während sich für den UBA Vorschlag eine Minderungen um 40% und für den Vorschlag Kalifornien von 50% ergibt. Die starke Benzolminderung macht sich sofort mit der Einphasung des reformulierten Kraftstoffs bemerkbar und wirkt sich insbesondere auf Altfahrzeuge aus, so daß schon für das Jahr 2000 mit dem UBA Vorschlag eine Reduzierung der Benzolbelastung im Innerortsbereich um 40% möglich wäre. Dabei ist für keinen der Vorschläge eine Erhöhung der NO_x-Emissionen zu erwarten.

Für das Szenario Euro III ist eine noch stärkere Minderung der absoluten Emissionen als für Euro II zu verzeichnen. Mit der Kombination von Euro III und RFG II könnten im Grundsatz auch die Immissionsziele für Benzol erreicht werden: der Immissionswert läge bei Kombination beider Maßnahmen bei 2 bis 3 µg/m³ und damit auch an verkehrsmäßig hochbelasteten Stellen im Bereich des Zielwertes, den der LAI/SRU für Benzol mit 2,5 µg/m³ angesetzt hat.

Für **Dieseldieselkraftstoff** ergeben sich für HC, CO und NO_x nur relativ geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Kraftstoffvorschlägen, wobei für die stärker reformulierten Dieseldieselkraftstoffe eine leichte HC-Erhöhung, aber signifikante CO- und NO_x-Minderungen zu verzeichnen sind. Am deutlichsten sind die Unterschiede bei den Partikeln, mit Minderungen bis zu 20%. Die entscheidenden Schadstoffe bei Dieselfahrzeugen, NO_x und Partikel, können also mit den Kraftstoffen Vorschlag UBA und Schweden signifikant gemindert werden.

Für den Gesamtstraßenverkehr (**Otto- und Dieselfahrzeuge**) können durch den UBA Vorschlag bei allen aufgeführten Schadstoffen Minderungen erreicht werden, besonders für Benzol (und dort besonders im Innerortsbereich) und für Dieselpartikel. Die Berechnungen zeigen auch, daß mit den Vorschlag UBA Kraftstoffen kein Anstieg der NO_x-Emissionen zu erwarten ist, sondern im Gegenteil sogar eine leichte Minderung, während bei der Umsetzung des Kommissionsvorschlags keine Veränderung gegenüber dem Basisfall auftritt.

Ein weiterer Vorteil reformulierter Kraftstoffe ist, daß sie sich auch auf off road Fahrzeuge und mobile Maschinen, die ebenfalls diese Kraftstoffe verwenden, auswirken. Diese wurden definitionsgemäß in diesem Vorhaben nicht berücksichtigt. Ihr relativer Anteil an den Gesamtemissionen wird in der Zukunft jedoch stark ansteigen. Besonders mobile Maschinen mit Ottomotoren, wie z.B. Garten- und Freizeitgeräte, haben z.T. sehr hohe HC- und Benzolemissionen, die durch reformulierte Ottokraftstoffe deutlich reduziert werden könnten.

Während die Emissionsminderungen durch Kraftstoffänderungen schnell eintreten können und sich vor allem auch auf die Altfahrzeuge auswirken, reichen sie nicht aus, um auf lange Sicht die Immissionsziele zu erreichen und dauerhaft zu unterschreiten. Dazu sind auch fahrzeugseitige und andere Maßnahmen notwendig, insbesondere aber anspruchsvolle Euro III Grenzwerte für Pkw und Nfz. Nur fahrzeugseitige Maßnahmen in Kombination mit geringfügigen Änderungen an den Kraftstoffqualitäten führen ebenfalls nicht zum Ziel und verschenken vor allem die Möglichkeit, relativ kurzfristig substantielle Verbesserungen bei der Immissionssituation, insbesondere beim Benzol, zu realisieren. Berücksichtigt werden sollte auch, daß die in den Berechnungen verwendeten Fahrleistungsdaten natürlich auf Annahmen beruhen. In der Vergangenheit wurden die Fahrleistungszunahmen immer unterschätzt, so daß auch hier wahrscheinlich eher zu niedrige Zahlen verwendet wurden.

Nach den bisherigen Erkenntnissen sind auch bei der Produktion und der Verwendung der stark reformulierten Kraftstoffe nur vernachlässigbar geringe Erhöhungen der CO₂-Emissionen zu erwarten. Es ist zu erwarten, daß eine schrittweise Umstellung der Raffineriekapazitäten auf neue effektivere und kostengünstigere Anlagen und Verfahren zu minimalen Mehrkosten und praktisch gleichbleibenden CO₂-Emissionen sowohl beim Ottokraftstoff als auch beim Diesel führen wird.

Die bisherigen Beiträge der Mineralölindustrie zur Lösung der durch den motorisierten Straßenverkehr verursachten Umweltprobleme, nämlich die Bereitstellung von unverbleitem Ottokraftstoff, die Reduzierung des Benzolgehaltes der Benzinsorte „Super Plus“ (Marktanteil ca. 5%) auf maximal 1 Vol% und die vorfristige Reduktion des Schwefelgehaltes im Diesel, sind anzuerkennen, aber für die Zukunft als nicht ausreichend anzusehen.

Die oben aufgeführten Maßnahmen zu den Kraftstoffqualitätsverbesserungen lassen sich mit relativ kurzen Vorlaufzeiten technisch realisieren und sind ökonomisch tragbar.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert: In Kapitel 1 erfolgt eine zusammenfassende Betrachtung. In Kapitel 2 erfolgt eine Gesamtdarstellung der Straßenverkehrsemissionen. Die Grundannahmen werden im Kapitel 3 erläutert, die Ableitung der Minderungsfaktoren sowie die daraus resultierenden veränderten Emissionen werden in den Kapiteln 4 für Ottokraftstoff (OK) und 5 für Dieseldieselkraftstoff (DK) beschrieben.

Die Verantwortung für die Erstellung des Textes bzw. für die Ableitung der infolge der reformulierten Kraftstoffe veränderten Emissionsfaktoren liegt beim Umweltbundesamt, diejenige für die Berechnungen und die grafische Darstellung beim IFEU Heidelberg.

1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland werden gegenwärtig im motorisierten Verkehr rund 55 Mio. t Otto- und Dieselmotorkraftstoffe jährlich verbraucht. Damit ist dieser Bereich nicht nur einer der größten Nachfrager für Mineralölprodukte, sondern trägt mit seinen verdunstungs- und verbrennungsbedingten Emissionen auch beträchtlich zur Luftbelastung bei. Dies gilt sowohl für die Ozonvorläufersubstanzen, wie Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickoxide (NO_x), als auch für die als krebserregend eingestuften Stoffe Benzol und Dieselmotorauspartikel. Beispielsweise beträgt der Anteil der Verkehrsemissionen an den gesamten deutschen Emissionen bei NO_x rund 60%, bei NMVOC 35%, bei Benzol 80% und bei Dieselmotorauspartikeln über 90%.

Aus Gründen des Umwelt- und Gesundheitsschutzes müssen diese Verkehrsbelastungen schnellstmöglich drastisch gemindert werden. Hier könnten neben Kfz-technischen Maßnahmen innovative emissionsmindernde Kraftstoffe als Primärmaßnahme einen wichtigen Beitrag zur Umweltentlastung liefern. Denn solche Kraftstoffe sind eine unmittelbar auf den gesamten Fahrzeugbestand wirksame Maßnahme zur Verringerung der verkehrsbedingten Umweltbelastungen.

Bei Ottomotorkraftstoffen steht die Senkung des Benzol- und Aromatengehaltes, des Schwefelgehaltes und des Dampfdruckes sowie die Zugabe von sauerstoffhaltigen Verbindungen im Vordergrund. Für Dieselmotorkraftstoffe ist hier speziell neben der Verringerung der Dichte die Minderung des Polyaromaten- und des Schwefelgehaltes sowie die Verbesserung der Zündwilligkeit (Cetanzahl) zu nennen. Besonders schädliche Substanzen im Kraftstoff und in dessen Emissionen, wie krebserzeugende, persistente oder akkumulierbare Stoffe sollten weitestgehend reduziert werden.

In den letzten Jahren führte die EU-Kommission gemeinsam mit der Mineralöl- und der Automobilindustrie das europäische “Auto-Öl-Programm” durch, mit dem die technischen Grundlagen für die Festlegung neuer Kraftstoffqualitäten und Abgasgrenzwerte ab dem Jahr 2000 erarbeitet werden sollen.

Der Ansatz dieses Programmes, das auf Vorgaben der Richtlinie 94/12/EU vom 23.3.1994 beruht, ist folgender: Ausgehend von der heutigen Luftqualität in großen europäischen Städten wird die Luftqualität im Jahr 2010 prognostiziert und mit Luftqualitätszielen verglichen. Daraus werden die notwendigen Emissionsminderungen abgeleitet. Zur Erreichung dieser Minderungsziele wurde ein möglichst kosteneffektives Paket aus fahrzeugtechnischen, kraftstoffseitigen und auch nichttechnischen Maßnahmen zusammengestellt. Dieses Programm wurde 1992 initiiert, erste Ergebnisse liegen seit dem Frühjahr 1995 vor.

Ein eigenständiger Teil des Programms ist dabei das “European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies”, bekannt als EPEFE, in dem Mineralöl- und Automobilindustrie in einem umfangreichen Meßprogramm den Einfluß verschiedener Kraftstoffparameter auf die Emissionen moderner Otto- und Dieselmotofahrzeuge bzw. -motoren untersucht haben.

Obwohl das Umweltbundesamt (UBA) das Auto-Öl-Programm vom Ansatz her für gut und sinnvoll hält, müssen grundlegende Annahmen und insbesondere deren Umsetzung kritisch bewertet werden. Ein Hauptkritikpunkt ist sicherlich, daß dies Programm nur von der Kommission und den beiden genannten Industrien durchgeführt wurde, ohne den in den einzelnen Mitgliedsländern der EU vorhandenen Sachverstand mit einzubinden. Die Unsicherheit der Ausgangsdaten und die zahlreichen Modellierungsschritte, die im Auto-Öl-Programm

verwendet werden, bedingen zwangsläufig hohe Unsicherheitsmargen, die man bei den Schlußfolgerungen berücksichtigen muß.

Ein Hauptschwachpunkt des ursprünglichen Auto-Öl-Programms war, daß es im wesentlichen nur auf die städtische Umwelt abstellte. Übergreifende Probleme wie z.B. die Versäuerung oder Eutrophierung durch NO_x blieben unberücksichtigt. Auch hohe Ozonkonzentrationen, unter denen die Menschen in Europa ja gerade in den letzten Sommern zu leiden hatten, wurden nicht berücksichtigt. Ozon wurde zwar modelliert, aber in der Ableitung der Minderungsnotwendigkeiten nicht berücksichtigt. Auch werden in dieser Strategie Umweltschäden wie die neuartigen Waldschäden nicht hinreichend einbezogen. Andererseits ermöglichen die für städtische Belastungen verwendeten Modelle, wie z.B. ein Gitterraster von 2×2 km für die Modellierung von Benzol in Städten, vielfach keine genügend differenzierten Aussagen und führen zu falschen Schlußfolgerungen. Auch die Partikelbelastung wurde wegen fehlender Simulationsmodelle nicht berücksichtigt.

Zwei dieser Kritikpunkte, die Belastung durch Ozon (jedoch nur für die menschliche Gesundheit) und durch Partikel, wurden inzwischen von der Kommission aufgegriffen und in den neuesten Vorschlägen berücksichtigt.

Aus Umweltsicht ist auch eine Strategie, die darauf ausgerichtet ist, lediglich im Jahr 2010 bestimmte Luftqualitätskriterien zu erfüllen, die danach aber möglicherweise überschritten werden, nicht befriedigend. Maßnahmen, die schon vorher erhebliche Schadstoffminderungen bewirken können, wie z.B. die im folgenden näher beschriebenen kraftstoffbezogenen Maßnahmen, werden mit einer solchen Strategie unterbewertet.

Zwischenzeitlich wurden von der Kommission auch erste Vorstellungen zu den Pkw-Grenzwerten sowie zu Kraftstoffqualitätsanforderungen zugänglich gemacht. Sie basieren auf den oben beschriebenen Studien des Auto-Öl-Programms. Während für die Pkw-Grenzwerte eine Verschärfung vorgesehen ist, wird bei den Kraftstoffen für Deutschland praktisch der status quo festgeschrieben. Dies ergibt sich aus den verwendeten Modellrandbedingungen, die nur das Ergebnis im Jahre 2010 betrachten.

Die Luftqualitätsprobleme bestehen jedoch heute und sollten so schnell wie möglich angegangen werden. Fahrzeugseitige Maßnahmen wirken sich nur langsam aus, da ein Bestandsaustausch z.B. bei Pkw in Deutschland mehr als 12 Jahre dauert, in anderen Ländern noch viel länger. Außerhalb Deutschlands werden auch Nutzfahrzeuge viel länger betrieben und wirken sich im Rahmen des grenzüberschreitenden Verkehrs auch auf die Luftbelastung in Deutschland aus. Kraftstoffseitige Maßnahmen wirken schneller und vor allem auch auf die Altfahrzeuge. Auch ist eine Markteinführung (Einphasung) bei einem Beschluß für zukünftige Kraftstoffqualitäten schneller zu erwarten. Darum hat das Umweltbundesamt (UBA) auf der Basis von eigenen F+E-Vorhaben (insbesondere ADL93, ADL88) auch einen eigenen Vorschlag für Anforderungen an Otto- und Dieselmotorkraftstoffe erarbeitet. Für die Einschätzung der Bedeutung der verschiedenen Vorschläge ist es wichtig zu wissen, welche Auswirkungen derartige Kraftstoffänderungen und die damit verbundenen Emissionsänderungen auf die gesamten Emissionen des Kfz-Verkehrs haben.

2 Zusammenfassung: Emissionen des Straßenverkehrs 1995-2010

Berechnet wurde das Szenario Euro II mit einer Einphasung der veränderten Ottokraftstoffe (1998 - 2000) und Diesel (2000 - 2003) (vgl. Kap. 3.1 und 3.2). In der Tabelle 1 sind die Emissionen von Otto- und Diesel-Kfz in Deutschland für die Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 zusammengefaßt. Eine grafische Darstellung der Entwicklung der Emissionen von HC, Benzol, Benzol im Innerortsverkehr, CO, NO_x und Dieselpartikeln von 1995-2010 findet sich in Abbildung 1. Betrachtet werden neben dem Basiskraftstoff die beiden Otto-/Diesel-Kombinationen Kommissionsvorschlag und Vorschlag UBA.

Für die HC-Emissionen des Gesamtstraßenverkehrs ergeben sich für die zwei Kraftstoffvorschläge ähnliche Minderungen von ca. 10%. Etwas größere Unterschiede ergeben sich bei CO mit Minderungen für das Jahr 2005 für den Kommissionsvorschlag von 8% und für den Vorschlag UBA von 14%. Für NO_x ergibt sich für den Kommissionsvorschlag keinerlei Änderung zum Basisfall und für den Vorschlag UBA eine geringe Minderung von 3%. Am deutlichsten sind die Unterschiede beim Benzol. Während beim Kommissionsvorschlag nur eine geringe Minderung von 7% zu erwarten ist, ergibt sich für den Vorschlag UBA eine Minderung um 34% bei der Benzolemission des Gesamt-Straßenverkehrs für das Jahr 2005. Im Innerortsbereich ist die Minderung noch höher, 8% für den Kommissionsvorschlag und 40% für den Vorschlag UBA. Wie man den Abbildungen entnehmen kann, macht sich die starke Benzolminderung sofort ab der Einphasung des reformulierten Kraftstoffs 1998 bemerkbar, so daß schon für das Jahr 2000 mit dem Vorschlag UBA nahezu eine Halbierung der Benzolbelastung im Innerortsbereich möglich ist. Bei den Dieselpartikeln ergibt sich durch die spätere Einphasung des DK über einen längeren Zeitraum ein deutlicher Minderungseffekt erst ab 2004, der bis 2010 bis auf seinen Maximalwert ansteigt. Für den Vorschlag UBA sind dies 14%.

Durch den Vorschlag UBA können bei allen aufgeführten Schadstoffen Minderungen erreicht werden, besonders aber beim Benzol (und dort vor allem im Innenstadtbereich) und bei den Dieselpartikeln. Die Berechnungen zeigen auch, daß mit den weiter reformulierten Kraftstoffen kein Anstieg der NO_x-Emissionen zu erwarten ist, sondern sogar eine leichte Minderung, während bei der Umsetzung des Kommissionsvorschlags keine Veränderung gegenüber dem Basisfall auftritt.

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, wurde neben den vorgestellten Berechnungen für ein Szenario Euro II auch ein Szenario Euro III betrachtet. Die Änderungsfaktoren für die Emissionsfaktoren wurden vom IFEU-Institut entwickelt und sind in Tabelle 3 in Kapitel 3.1 aufgeführt. Diesen Emissionsfaktoren liegen die deutschen Vorschläge zugrunde. Die jetzt von der Kommission diskutierten Abgasgrenzwertvorschläge für Pkw bleiben jedoch deutlich hinter den D-Vorschlägen zurück.

Aufgrund der Unsicherheit bzgl. der Euro III (und eventueller Euro IV) Abgasgrenzwerte und der dann zu ihrer Einhaltung notwendigen Minderungstechniken wurden hier keine gesonderten Minderungsfaktoren für Euro III bzw. Euro IV- Fahrzeuge abgeschätzt, sondern die für Euro II Fahrzeuge abgeleiteten Faktoren übernommen. Dies bedeutet, daß die für das Szenario Euro III erhaltenen Ergebnisse deutlich weniger belastbar sind als die Euro II Emissionsdaten und zu günstige Werte liefern, falls die Kommissionsvorschläge für Abgasgrenzwerte, so wie sie jetzt vorliegen, beschlossen werden. Bei deutlich anspruchsvolleren Abgasgrenzwerten könnte in Verbindung mit stark reformulierten Kraftstoffen auch Technik in Pkw und Nfz eingesetzt werden, die zu stärkeren Emissionsminderungen, insbesondere

für NO_x und Partikeln bei Dieselfahrzeugen, als hier ausgewiesen führt. Dann käme die Wirkung des neuen Dieselmotors erst voll zum tragen.

Tabelle 1: Ergebnistabelle Otto- und Dieselmotors Euro II

		1995	2000	2005	2010
HC	Basisszenario (kt)	619	346	234	208
HC	Kommissionsvorschlag	0%	-10%	-10%	-10%
HC	Vorschlag UBA	0%	-11%	-10%	-10%
Benzol	Basisszenario (kt)	26,9	15,1	9,8	8,3
Benzol	Kommissionsvorschlag	0%	-7%	-7%	-7%
Benzol	Vorschlag UBA	0%	-36%	-34%	-33%
Benzol in- nerorts	Basisszenario (kt)	17,1	9,9	6,5	5,5
Benzol in- nerorts	Kommissionsvorschlag	0%	-8%	-8%	-8%
Benzol in- nerorts	Vorschlag UBA	0%	-40%	-40%	-40%
CO	Basisszenario (kt)	3.581	2.374	1.663	1.410
CO	Kommissionsvorschlag	0%	-8%	-8%	-7%
CO	Vorschlag UBA	0%	-13%	-14%	-14%
NO _x	Basisszenario (kt)	1.013	848	783	776
NO _x	Kommissionsvorschlag	0%	0%	0%	0%
NO _x	Vorschlag UBA	0%	-2%	-3%	-3%
Partikel	Basisszenario (kt)	42	31	26	25
Partikel	Kommissionsvorschlag	0%	-1%	-4%	-5%
Partikel	Vorschlag UBA	0%	-2%	-12%	-14%

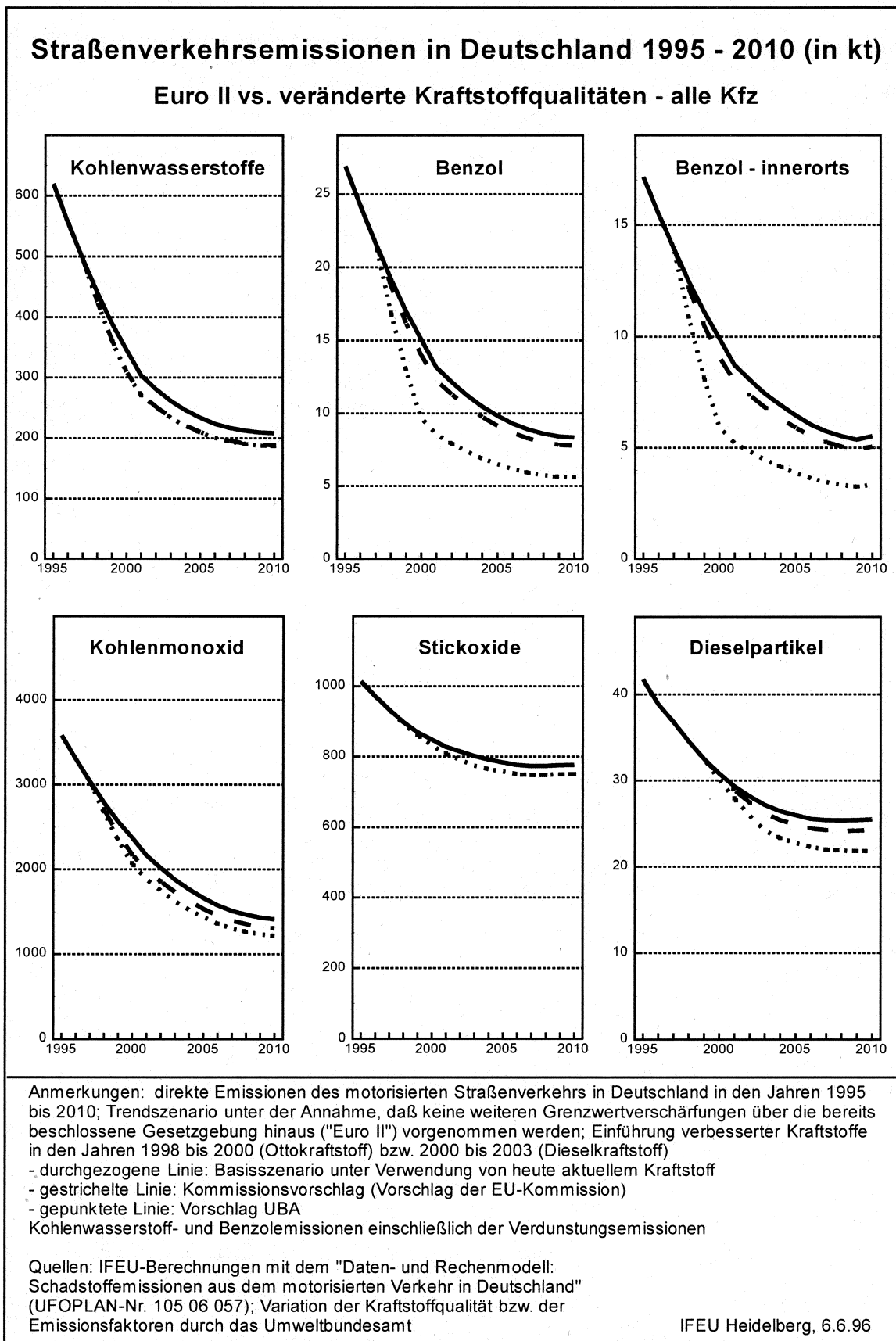


Abb. 1

Die Tabelle 2 zeigt die Entwicklung in Deutschland für die Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 auf. Da eine Umsetzung der Euro III-Abgasgrenzwerte erst ab 1998 einsetzt, unterscheiden sich die Gesamtemissionen für 1995 und 2000 in den beiden Szenarien Euro II und III praktisch nicht. Mit zunehmendem Anteil von Euro III Fahrzeugen an der Flotte gehen die Emissionen im Euro III-Szenario stärker zurück als im Euro II-Szenario. Da hier vor allem der Zeitraum 1995 bis 2005 interessiert, soll exemplarisch das Jahr 2005 betrachtet werden.

Für Partikeln und NO_x ergibt sich für 2005 für die Kraftstoffe Kommissionsvorschlag und Vorschlag UBA eine Minderung von rund 20 % für das Euro III Szenario im Vergleich zum Euro II Szenario.

Für Benzol sinken für den Basiskraftstoff die Emissionen von 9,8 kt (Szenario Euro II) auf 8,5 kt (Szenario Euro III), für den Kommissionsvorschlag von 9,1 kt auf 7,9 kt und für den Vorschlag UBA von 6,5 kt auf 5,7 kt. Dies entspricht einer zusätzlichen Minderung für Euro III im Vergleich zu Euro II von rund 13%. Innerorts wird eine etwas größere zusätzliche Minderung von rund 15% erreicht, so daß für den Vorschlag UBA die Benzolemission innerorts im Jahr 2005 auf 3,2 kt reduziert wird und 2010 sogar auf 2,1 kt fällt. Mit der Kombination vom Szenario Euro III und Vorschlag UBA könnten also im Grundsatz auch die Immissionsziele für Benzol erreicht werden: Innerorts traten in Deutschland im Jahr 1995 Maximalkonzentrationen von ca. 15 bis 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Benzol auf. Entsprechend den innerörtlichen Absenkungsraten lägen diese Maximalkonzentrationen unter ansonsten unveränderten Bedingungen im Jahr 1998 bei ca. 11 bis 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, und damit höher als der Richtwert nach § 40 BImSchG (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Im Szenario Euro II-Trend liegen die entsprechenden Maximalkonzentrationen im Jahr 2005 bei ca. 6 bis 7 bzw. im Jahr 2010 bei 5 bis 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieser Wert betrüge bei einem nach dem besten Stand der Technik optimierten emissionsarmen Kraftstoff bzw. bei Euro III im Jahre 2010 3 bis 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei Kombination beider Maßnahmen 2 bis 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Er läge damit auch an verkehrsmäßig hochbelasteten Stellen im Bereich des Zielwertes, den der LAI/SRU für Benzol mit 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ansetzt.

Eine dem hier verwendeten Ansatz ähnliche Untersuchung wurde von Kohoutek et al. (KOH96) durchgeführt. In ihrer Arbeit “Einfluß der Gesetzgebung auf die PKW-Emissionen von limitierten und nicht limitierten Abgaskomponenten” wurde exemplarisch die Einwirkung von zwei Parametern - Höhe der Abgasgrenzwerte und Ottokraftstoffzusammensetzung - auf die Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland quantifiziert. Als wesentliches Ergebnis stellte sich heraus, daß die Benzolemissionen durch eine veränderte Zusammensetzung der Ottokraftstoffe deutlich gesenkt werden können. Anhand eines komplexen Rechenmodells konnte nachgewiesen werden, daß ein mit reduzierten Kraftstoffaromaten verbundener Anstieg der NO_x -Emissionen bei Fahrzeugen mit regeltem Drei-Wege-Katalysator dennoch die gesamte NO_x -Emissionsbilanz des Pkw-Verkehrs nicht verschlechtern würde. Diese Ergebnisse bestätigen die hier durchgeführten Berechnungen.

Tabelle 2: Ergebnistabelle Otto- und Diesekraftstoffe Euro III

		1995	2000	2005	2010
HC	Basisszenario (kt)	619	345	202	151
HC	Kommissionsvorschlag	0%	-10%	-10%	-9%
HC	Vorschlag UBA	0%	-11%	-10%	-10%
Benzol	Basisszenario (kt)	26,9	15,1	8,5	5,9
Benzol	Kommissionsvorschlag	0%	-7%	-7%	-6%
Benzol	Vorschlag UBA	0%	-36%	-33%	-31%
Benzol in- nerorts	Basisszenario (kt)	17,1	9,9	5,4	3,4
Benzol in- nerorts	Kommissionsvorschlag	0%	-8%	-8%	-8%
Benzol in- nerorts	Vorschlag UBA	0%	-40%	-40%	-38%
CO	Basisszenario (kt)	3.581	2.364	1.414	964
CO	Kommissionsvorschlag	0%	-8%	-8%	-7%
CO	Vorschlag UBA	0%	-13%	-14%	-14%
NO _x	Basisszenario (kt)	1.013	833	627	519
NO _x	Kommissionsvorschlag	0%	0%	0%	0%
NO _x	Vorschlag UBA	0%	-2%	-3%	-3%
Partikel	Basisszenario (kt)	42	30	21	17
Partikel	Kommissionsvorschlag	0%	-1%	-4%	-5%
Partikel	Vorschlag UBA	0%	-2%	-12%	-14%

Ein wichtiger Aspekt bei der Betrachtung reformulierter Kraftstoffe ist die Veränderung der CO₂-Emissionen in der gesamten Kette. Für eine quantitative Betrachtung liegt nicht genug Datenmaterial vor, doch kann zumindest abgeschätzt werden, ob mit steigenden, gleichbleibenden oder sinkenden CO₂-Emissionen zu rechnen ist.

Nach RFG96 ergibt sich für reformulierte Ottokraftstoffe insgesamt eine sinkende CO₂-Emission, da einerseits durch die Aromatenminderung und den Zusatz an sauerstoffhaltigen Verbindungen sich das C/H-Verhältnis des Kraftstoffs verbessert. Durch Änderungen in der Raffineriestruktur und andere Ausgangsmaterialien für die Kraftstoffproduktion (weniger Rohöleinsatz und Verwendung von Rückstandsölen für die Kraftstoff- und Wasserstoffproduktion, Erdgas und Flüssiggas als Grundstoffe für die MTBE-/ ETBE-Produktion) kann die CO₂-Bilanz positiv ausfallen.

Um zu reduzierten CO₂-Emissionen zu kommen, wird von der Automobilindustrie neben Dieselaggregaten auch der Otto-Magermotor mit DeNO_x-Katalysator intensiv weiterentwickelt. Nach Aussagen der Automobilindustrie (HAW96) brauchen diese Systeme deutlich niedrige Kraftstoffschwefelgehalte von unter 50 ppm, und zwar sowohl im Otto- als auch im Dieseldieselkraftstoff. Auch für innovative Technologien im Nfz-Bereich sind sehr schwefelarme Kraftstoffe die Voraussetzung. Dazu gehören SCR-Anlagen zur NO_x-Reduzierung und Oxidationskatalysatoren.

Bei der SCR-Technik kann sich das Reduktionsmittel NH₃ mit den Oxidationsprodukten des Kraftstoffschwefels zu Sulfaten umsetzen. Durch eine Absenkung des Kraftstoffschwefelgehaltes unter 50 ppm wird eine Erweiterung des Temperaturfensters für die NO_x-Reduktion zu tieferen Temperaturen ermöglicht, so daß verstärkt Teillastbereiche erfaßt werden können.

Mit der Einführung von 500 ppm Schwefel Dieseldieselkraftstoff ist die Mindestanforderung für Oxidationskatalysatoren bei Diesel-Pkw erreicht, für Nutzfahrzeuge mit Oxidationskatalysator kann aber selbst 10 ppm Schwefelgehalt noch zu einer Erhöhung der Partikelmasse durch Sulfatbildung führen (GAI94). Trotzdem ergeben sich Verminderungen von HC und PAH. Weniger schwefelempfindliche Oxidationskatalysatoren sind in der Entwicklung.

3 Grundannahmen der Berechnungen

3.1 Daten- und Rechenmodell

Die Berechnungen wurden mit dem „Daten und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2010“ (IFEU95) und den dafür aufbereiteten bzw. ermittelten Daten durchgeführt. Dieses Modell wurde vom IFEU Heidelberg, aufbauend auf Modellteile von INFRAS, Bern, im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelt und ist für den Bereich Straßenverkehr weitestgehend fertiggestellt.

Die hier vorgestellten Berechnungen beinhalten nur die direkten Emissionen ab Fahrzeug, also nicht die Emissionen, die mit der Erdölproduktion, Aufbereitung sowie den zahlreichen Transport- und Umschlagsprozessen verbunden sind.

Allerdings gehen Änderungen der Kraftstoffzusammensetzung mit andersartigen Prozessen bzw. Prozeßführungen im Bereich der Raffinerie einher. Solche Änderungen sollten in einer späteren ausführlicheren Betrachtung in jedem Falle mit einbezogen werden. Es sollte zumindest näherungsweise geprüft werden, ob solche raffineriebedingten Änderungen den Änderungen der direkten Emissionen konkurrierend oder gleichgerichtet gegenüberstehen.

Die Ergebnisse des „Daten- und Rechenmodells“ (Abbildungen 2 und 3) beziehen sich auf den motorisierten Straßenverkehr innerhalb der Grenzen der Bundesrepublik Deutschland. Dabei sind für den Zeitraum 1980 bis 1990 die jeweils für die damalige Bundesrepublik Deutschland bzw. für die damalige DDR gültigen Daten einzeln ermittelt worden und hier der Übersichtlichkeit halber zusammengefaßt dargestellt.

Als Grundlage der Entwicklung der Emissionen dienen die Berechnungen über den Realverlauf der Emissionen in dem Zeitraum von 1980 bis 1995 und zum einen eine Trendfortschreibung 1996 bis 2010. Diese Trendfortschreibung orientiert sich in der Änderung der Fahrleistungen an den Prognosen der Bundesverkehrswegeplanung 1992. Die Zusammensetzung der Bestände folgt dem aktuellen Verhalten. In Abbildung 3 ist die Entwicklung der HC-Emissionen des Straßenverkehrs 1980 bis 2010 dargestellt. Mit Einführung der Katalysatortechnik bei Pkw ist eine starke Abnahme der HC-Emissionen zu verzeichnen (siehe Abbildung 2), die noch größer wäre, wenn nicht gleichzeitig eine starke Zunahme der Fahrleistungen aufgetreten wäre (siehe Abbildung 3). Immerhin ist für die Schadstoffe HC, CO und NO_x eine Entkopplung der Emissionen vom Verkehrsleistungsanstieg erreicht worden.

Für die weitere Entwicklung werden zwei mögliche Szenarien betrachtet:

- Das „**Szenario Euro II**“ geht davon aus, daß keine über die Ansprüche der Grenzwerte nach Euro II hinausgehenden Grenzwerte in dem Zeitraum bis 2010 Gültigkeit erlangen werden.
- Dem „**Szenario Euro III**“ liegt die Annahme zugrunde, daß ab dem Jahr 2000 für Pkw und Nutzfahrzeuge diejenigen Grenzwerte gelten werden, die als sogenannte D-Vorschläge in den entsprechenden europäischen Gremien diskutiert wurden. Allerdings können die von der Kommission kürzlich in einem Arbeitspapier vorgelegten Grenzwertvorschläge für die hier gemachten Berechnungen nicht berücksichtigt werden, da die hierfür notwendige Bearbeitungszeit nicht zur Verfügung stand. Die Kommissionsvorschläge bleiben hinter den alten D-Vorschlägen zurück, insbesondere für HC und NO_x bei Otto-Pkw. Auch die von der Kommission mittlerweile vorgeschlagene weitere vierte Grenzwertstufe konnte aus den gleichen Aufwandsgründen nicht berücksichtigt werden. Dies ist

aber kein Mangel, da hier besonders die Entwicklung 1998 bis 2005 betrachtet werden soll. Außerdem entspricht die 4. Grenzwertstufe des Kommissionsvorschlag in etwa dem Vorschlag Deutschlands für das Jahr 2000.

Tabelle 3 Änderungsfaktoren für die Emissionsfaktoren von Pkw und schweren Nutzfahrzeugen nach der EU-Gesetzgebung

	CO	HC	NO _x	Partikel
geschätzte Absenkungsraten für Otto-Pkw gegenüber Pkw mit regeltem Katalysator der Baujahre 1987 - 1990				
Anforderungen nach Euro I				
Warmbetrieb	- 36 %	- 37 %	0 %	
Kaltstartzuschlag	- 12 %	- 14 %	0 %	
Anforderungen nach Euro II				
Warmbetrieb	- 70 %	- 70 %	- 20 %	
Kaltstartzuschlag	- 50 %	- 50 %	- 50 %	
Anforderungen nach Euro III				
Warmbetrieb	- 70 %	- 70 %	- 60 %	
Kaltstartzuschlag	- 90 %	- 90 %	- 90 %	
geschätzte Absenkungsraten für Diesel-Pkw gegenüber der “Schicht Anlage XXIII” (IFEU95)				
Anforderungen nach Euro II				
Warmbetrieb	0 %	0 %	- 10 %	- 20 %
Kaltstartzuschlag	0 %	0 %	0 %	0 %
Anforderungen nach Euro III				
Warmbetrieb	- 20 %	- 20 %	- 40 %	- 70 %
Kaltstartzuschlag	- 10 %	- 10 %	- 10 %	- 10 %
geschätzte Absenkungsraten für schwere Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor im Warmbetrieb gegenüber dem Bestand 1990				
Euro I	- 10 %	- 10 %	- 30 %	- 20 %
Euro II	- 20 %	- 20 %	- 40 %	- 70 %
Euro III	- 50 %	- 40 %	- 60 %	- 80 %
Quellen: TÜV Rheinland etc., Verfahren, Berechnungen und Schätzungen durch IFEU Heidelberg im Auftrag des BUWAL und des UBA				IFEU 1996

Betrachtet werden die Schadstoffe HC, Benzol, CO und NO_x für Ottokraftstoff, wobei für Benzol zwischen den Gesamt- und den Innerortsemissionen unterschieden wird. Unter Innerorts werden alle Straßenkategorien außer Autobahnen im innerörtlichen Bereich verstanden. Für Dieselmotor werden die Emissionen von HC, CO, NO_x und Partikeln berechnet. Die für die Berechnungen benutzten abgeschätzten Emissionsfaktoren - s. Tab. 3 - beziehen sich auf die in den jeweiligen Jahren durchschnittlichen Kraftstoffqualitäten. Eine weitere Änderung der Kraftstoffqualitäten ist in den Basisberechnungen nicht antizipiert.

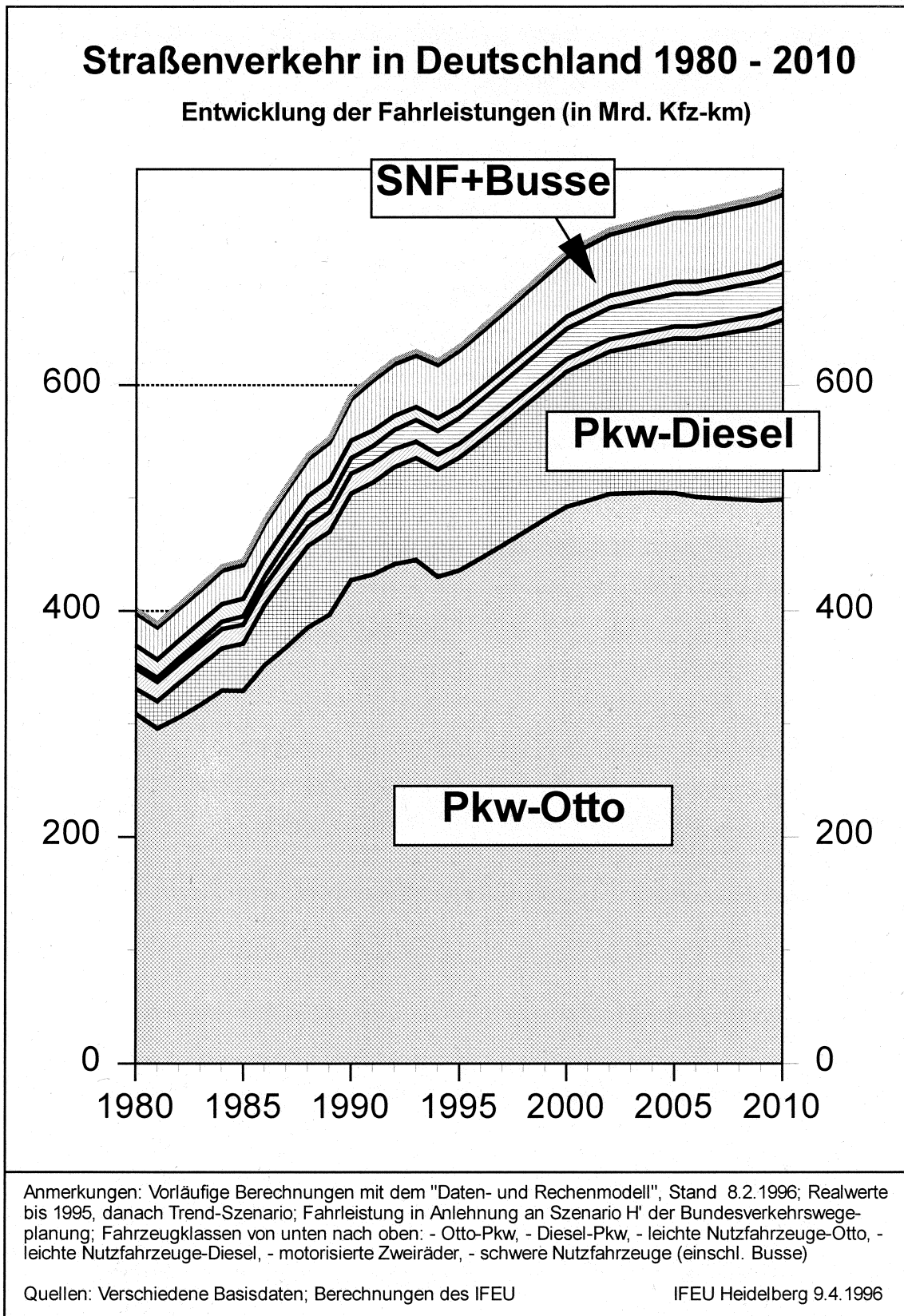


Abb. 2

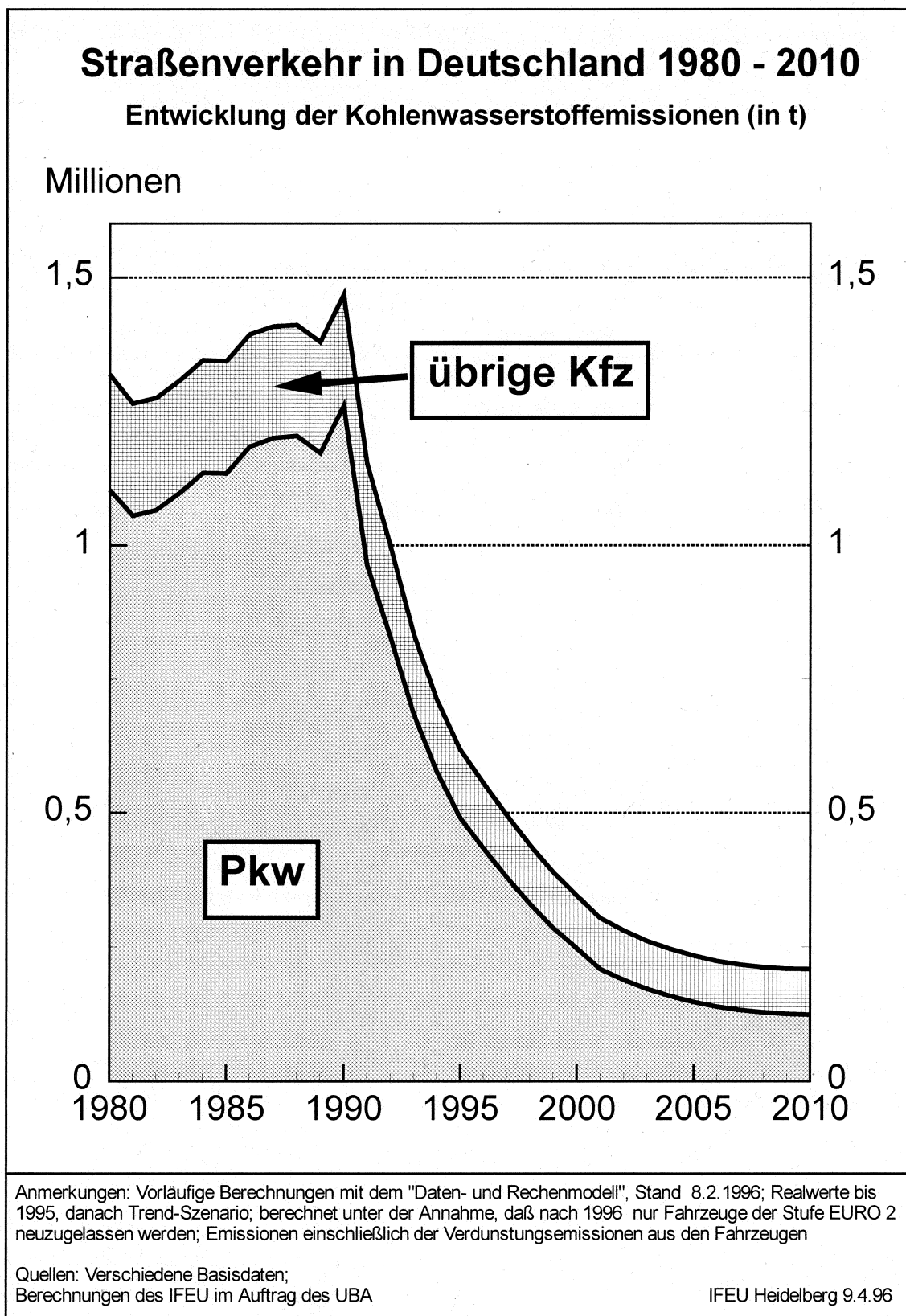


Abb. 3

3.2 Kraftstoffqualitätsszenarien

Aufbauend auf den oben beschriebenen Basisberechnungen wurden jeweils Alternativrechnungen für verschiedene Kraftstoffqualitäten durchgeführt. Dabei wurde angenommen, daß die geänderten Otto-Kraftstoffe innerhalb von drei Jahren (1998 bis 2000) und daß die geänderten Diesel-Kraftstoffe innerhalb von vier Jahren (2000 bis 2003) jeweils in linear zunehmendem Anteil (OK: 33%, 66% und 100 % bzw. DK: 25%, 50%, 75% und 100 %) gleichverteilt von allen Kfz-Schichten (Markteinführung/Einphasung) genutzt werden.

Die Szenarien reflektieren neben den heute gebräuchlichen Kraftstoffen (Basisszenario, Basiskraftstoff) folgende Vorschläge (siehe Tabelle 4 für Ottokraftstoff, Tabelle 18 für Dieselskraftstoff):

- **Kommissionsvorschlag:** Vorschlag der EU-Kommission wie im Mai 1996 inoffiziell zugänglich gemacht. Für die Berechnungen wurde für die Kraftstoffparameter, für die der Kommissionsvorschlag von der qualitativen Anforderung her hinter dem Basiskraftstoff zurückbleibt, der entsprechende Wert des Basiskraftstoffs verwendet,
- **Vorschlag UBA:** Vorschlag des deutschen Umweltbundesamtes (UBA) auf der Basis von eigenen F+E-Vorhaben (insbesondere ADL93, ADL88),
- **OK entsprechend kalif. RFG II:** Ottokraftstoff entsprechend dem kalifornischen Reformulated Gasoline Phase II (“Vorschlag Kalifornien”). Die US Clean Air Act Amendments von 1990 verlangen die Einführung von „reformulated gasolines“ in den Gebieten, in denen die US Standards für CO und Ozon nicht eingehalten werden. Allerdings sind die Anforderungen schwächer als in Kalifornien.
- **DK entsprechend schwedischer EC 1:** Dieselskraftstoff entsprechend dem schwedischen DK Environmental Class 1 (S EC1) (“Vorschlag Schweden”). In Schweden stand bei der Reformulierung des Diesels der Gesundheitsaspekt im Vordergrund, insbesondere die biologische Wirksamkeit der Dieselsabgase.

Im Rahmen des europäischen Auto-Öl-Programms wurden fünf Kraftstoffszenarien (KOM95/1) gerechnet, von denen das KOM-Szenario III für OK gut mit dem UBA-Szenario übereinstimmt, während keine dem Kommissions- oder dem RFG II-Vorschlag entsprechenden Fälle gerechnet wurden. Der Vorschlag UBA ist nach den vorliegenden Studien technisch und wirtschaftlich realisierbar. Der kalifornische OK wurde gewählt, da dieser Kraftstoff insbesondere beim Benzol- und Aromatengehalt den besten Stand der Raffinerietechnik repräsentiert, jedoch gegenüber dem Vorschlag UBA zu deutlich höheren Kosten und höheren Energieverbräuchen in den Raffinerien führen würde.

Beim Diesel liegt der Kommissionsvorschlag zwischen dem Base Average und dem Szenario I, der UBA-Vorschlag kann ungefähr mit dem KOM-Szenario III verglichen werden. Ein mit dem schwedischen DK EC 1 vergleichbares Szenario wurde nicht gerechnet. Der schwedische Diesel repräsentiert ebenfalls den besten Stand der Raffinerietechnik. Im Hinblick auf die Raffinerietechnik ist anzumerken, daß bisher nirgendwo Kraftstoffe nach den Anforderungen kalifornischem RFG II und schwedischem EC1 gleichzeitig eingesetzt sind. Je strenger die Anforderungen an den Ottokraftstoff hinsichtlich Aromaten sind, desto weniger Wasserstoff wird bei der Reformierung frei. Wasserstoff wird jedoch für eine weitergehende Entschwefelung des Dieselskraftstoff benötigt. Wasserstoff müßte dann auf anderen Wegen erzeugt werden, was zu höherem Aufwand und Energieverbrauch führt.

Für Ottokraftstoff wurde eine Qualität verwendet, um die durchschnittliche Kraftstoffqualität zu beschreiben. Dies setzt ein bestimmtes Verhältnis der Marktanteile für Normal und Superqualitäten voraus. Dieses Verhältnis kann sich verändern durch eine Verschiebung im Oktanbedarf in der Fahrzeugpopulation, die zu einem schon beobachtbaren Trend zu einem höheren Marktanteil von Superbenzin führt.

3.3 Grundlagen der Ableitung der Minderungsfaktoren

Die Szenarien in diesem Bericht wurden für die verschiedenen Kraftstoffqualitäten auf der Grundlage derjenigen Faktoren für die direkten Abgasemissionen berechnet, die in der Abteilung “Umwelt und Verkehr” des Umweltbundesamtes abgeschätzt wurden. Für die Ableitung der Minderungsfaktoren wurden neben den Ergebnissen verschiedener UBA F+E-Vorhaben (insbesondere ADL93, ADL88) sowie den in den letzten Jahren veröffentlichten Untersuchungen der nationalen und internationalen Mineralöl- und Automobilindustrie die Ergebnisse des europäischen Auto-Öl-Programms (einschließlich EPEFE) sowie US-amerikanische Quellen verwendet.

Besonders sind zu nennen

- die Untersuchungen der Fa. Shell mit verschiedenen Kfz-Herstellern zu Otto- und Dieselmotoren (LAN95, GAI94, LAN93, SHELL94).
- die Ergebnisse des EPEFE-Programms: zum einen die als Vorarbeit für das EPEFE-Programm von den drei beteiligten Gruppen (Kommission, Automobil- und Mineralölindustrie) durchgeführte umfassende Literaturrecherche, die in Form einer Synopsis veröffentlicht wurde (SYN95, CON95), zum anderen der eigentliche EPEFE-Bericht sowie die in Sekundärquellen zitierten Ergebnisse (EPEFE95, SHELL95, SIG96).
- die von der Kommission vorgelegten Szenario-Berechnungen (KOM95/1, KOM95/2), die die Basis für die Kosten-Effektivitätsstudie darstellen, auf deren Ergebnissen die Kommissionsvorschläge basieren sollen.
- das von der US EPA entwickelt Computerprogramm “Complex Model” (EPA96), mit dem eine quantitative Bewertung reformulierter Ottokraftstoffe möglich ist. Es basiert hauptsächlich auf US-amerikanischen Daten und gilt nur für Katalysatorfahrzeuge. Es erlaubt auch die Berücksichtigung von “high emitters”, hier werden jedoch nur die “normal emitter” Ergebnisse verwendet. Im allgemeinen finden sich bei Berechnungen mit diesem Modell höhere Minderungsraten als auf der Grundlage europäischer Untersuchungen.

Für die Ableitung der Änderungsfaktoren (immer definiert in Bezug auf den heute gebräuchlichen Kraftstoff) bzw. die Berechnungen wurden die **Otto-Kfz** in zwei Gruppen eingeteilt (IFEU95):

1. Zur Gruppe der Otto-Kfz ohne Katalysator gehören alle Otto-Pkw, alle motorisierten Zweiräder und alle leichten Otto-Nutzfahrzeuge ohne Katalysator.
2. Zur Gruppe der Otto-Kfz mit Katalysator gehören alle Otto-Pkw mit ungeregeltem Katalysator, mit geregeltem Katalysator der Baujahre 1986 und jünger, mit geregeltem Katalysator der Baujahre 1987 bis 1990, mit geregeltem Katalysator entsprechend der Stufe Euro I, mit geregeltem Katalysator entsprechend der Stufe Euro II und - möglicherweise vorübergehend - der Stufe Euro III, des weiteren alle motorisierten Zweiräder mit Katalysator und alle leichten Otto-Nutzfahrzeuge mit Katalysator.

Für die Ableitung der Änderungsfaktoren und die Berechnungen wurden fünf Gruppen der **Diesel-Kfz** gebildet (IFEU95):

1. Die Gruppe der leichten Kfz ohne Oxidationskatalysator enthält alle Pkw und leichten Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor vor Gültigkeit der “Schicht Anlage XXIII” (IFEU95) und zu 80 % die entsprechenden Kraftfahrzeuge nach dieser Anlage XXIII.
2. Die Gruppe der leichten Kfz mit Oxidationskatalysator enthält zu 20 % alle Pkw und leichten Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor nach Anlage XXIII.
3. Die Gruppe der leichten Kfz nach Euro II und Euro III enthält die entsprechenden Pkw und leichten Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor.
4. Die Gruppe der schweren Nutzfahrzeuge Euro 0/I und
5. die Gruppe der schweren Nutzfahrzeuge Euro II/III bestehen aus den jeweils so zertifizierten Nutzfahrzeugen.

4 Ableitung der Minderungsfaktoren und deren Auswirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen für Ottokraftstoffe

4.1 Ableitung der Minderungsfaktoren

Die Eigenschaften der verschiedenen Otto-Kraftstoffe, die den Szenarien zugrunde gelegt wurden, sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4 Für das Modell genutzte Werte der Ottokraftstoffe bei den hier formulierten Szenarien (Einphasung je 33,3% in 1998, 1999 und 2000) (Berechnungsannahmen, vgl. Kap. 3.2):

Parameter	Basiskraftstoff	Kommissionsvorschlag **	Vorschlag UBA	OK entsprechend kalif. RFG II
Benzol Vol%	2,4	2,0	1,0	1,0
Aromaten Vol%	40	45	30	25
Schwefel ppm	240	200	100	40
T90 °C	160	186 ***	150	150
RVP kPa	67	60	60	60 ****
Olefine Vol%	10	18		6
O ₂ m% *	0,6	2,3		2,3

* Für den Sauerstoffgehalt wird von einem hohen Anteil von sauerstoffhaltigen Verbindungen (MTBE/ETBE) im zulässigen Bereich von maximal 2,8 m% ausgegangen. Diese Verbindungen führen ebenso wie die Aromaten zu einer Erhöhung der Oktanzahl.

** Wo der Kommissionsvorschlag vom Mai 1996 hinter den Basiswerten zurückbleibt, wurden letztere angesetzt. Für die Berechnungen wurden bei allen Vorschlägen etwas geringere Werte verwendet, so wie sie im Feld zu erwarten sind.

*** T90 min. 186 °C (entspr. E150 = 75 Vol%).

**** Den europäischen klimatischen Bedingungen entsprechend wird statt 50 kPa (Kalifornien) hier 60 kPa verwendet.

Der Otto-Kraftstoff nach dem Vorschlag der EU-Kommission ist bzgl. des Benzolgehaltes, des Dampfdrucks RVP und des Schwefelgehaltes nur unwesentlich besser als der deutsche Mittelwert, von den anderen Anforderungen her gleich. Damit entspricht der bisherige Kommissionsvorschlag vom Mai 1996 für das Jahr 2000 weitgehend dem jetzt schon bestehenden deutschen und auch dem europäischen Durchschnittswert (dem Basiskraftstoff), so daß mit Einführung dieser Grenzwerte keine wesentliche Minderung bei Ozonvorläufern und Kanzerogenen unmittelbar aus dem Kraftstoffpotential zu erwarten ist, obwohl es raffinerietechnisch möglich wäre (ADL93). Es ist absehbar, daß das wichtige Problem der Senkung der verkehrsbedingten Benzolemissionen, das von der Senkung des Aromaten- und insbesondere des Benzolgehaltes im Ottokraftstoff abhängt, durch den Kommissionsvorschlag praktisch nicht gelöst wird. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, wurde für die Berechnungen für

die Kraftstoffparameter, für die der Kommissionsvorschlag von der qualitativen Anforderung her hinter dem Basiskraftstoff zurückbleibt, der entsprechende Wert des Basiskraftstoffs verwendet.

4.1.1 Gesamtkohlenwasserstoffe

Die HC-Abgasemissionen werden durch eine ganze Reihe von Parametern beeinflusst. Für Katalysatorfahrzeuge liegen relativ umfangreiche Daten vor, für Nichtkatalysatorfahrzeuge wenige Untersuchungen an Einzelfahrzeugen.

Verschiedene Kraftstoffparameter wurden an modernen Katalysatorfahrzeugen im Rahmen des EPEFE-Programms variiert (EPEFE95). Laut einer Zusammenfassung (SHELL95) bewirkt eine Absenkung des Kraftstoffschwefels von 300 auf 100 ppm eine Minderung der HC-Emissionen um 6 %, eine Absenkung des Aromatengehalts von 40 Vol% auf 30 Vol% bedeutet 5 % Minderung.

Mittels der in SYN95 und EPEFE95 angegebenen Gleichungen können die Effekte einzelner Kraftstoffparameter auf die Emissionen berechnet werden:

Tabelle 5: HC-Minderung durch einzelne Parameter (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	Schwefel	Olefine	MTBE	E150	Aromaten
Kommission	-1,0 %	0	-3,7 %	0	0
UBA	-3,4 %	+0,4 %	-3,7 %	-5 %	-6 %
RFG II	-4,9 %	+1,6 %	-3,7 %	-5 %	-9 %

Der Effekt des Schwefels macht sich sehr stark im EUDC-Fahrzyklus bemerkbar, nur wenig im ECE-Fahrzyklus.

Mit dem Computerprogramm “Complex Model” der US EPA (EPA96) lassen sich die VOC-Minderungen für Katalysatorfahrzeuge berechnen, wobei VOC jedoch nicht Methan (ca. 10%) und Ethan (ca. 3%) einschließt. Demnach ergibt sich für den Kommissionsvorschlag eine VOC-Minderung um 5,5%, für das UBA-Szenario um 16% und für den Vorschlag RFG II eine Minderung um 18%.

Im Rahmen des europäischen Auto-Öl-Programms wurden fünf Kraftstoffszenarien gerechnet (KOM95/1), von denen das Szenario III für OK gut mit dem UBA-Kraftstoff übereinstimmt, während keine dem Kommissions- oder dem RFG II-Vorschlag entsprechenden Fälle gerechnet wurden. Nach den Berechnungen der Kommission ergibt sich für VOC für den UBA-Kraftstoff eine Minderung um 14% (KOM95/1, KOM95/2), die damit etwas geringer als bei den Berechnungen mit dem “Complex Model” ausfällt.

Aus den aufgeführten Quellen wird deshalb für Katalysatorfahrzeuge eine Minderung um 19% für RFG II, für das UBA-Szenario um 16% und für den Kommissionsvorschlag um 4% abgeleitet. Für Nichtkatalysatorfahrzeuge ist der Effekt kleiner, da sich hier insbesondere die Schwefelminderung nicht auswirkt und wird zu 15% für RFG II, zu 13% für den UBA-Vorschlag und zu 2% für den Kommissionsvorschlag angesetzt.

Tabelle 6: HC-Minderungen (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	ohne Katalysator	mit Katalysator
Kommission	- 2 %	- 4 %
UBA	- 13 %	- 16 %
RFG II	- 16 %	- 19 %

Ausgehend von diesen Minderungen wurden die in den weiter unten folgenden Tabellen aufgeführten Minderungsfaktoren für die einzelnen Fahrzustände entwickelt.

4.1.2 Benzol-Minderung im Abgas beim Ottomotorfahrzeug

Für die Abschätzung der Minderungsfaktoren für Benzol im Abgas werden vor allem die im Rahmen des europäischen Auto-Öl-Programms erarbeiteten Gleichungen verwendet. Als Vorarbeit für das EPEFE-Programm wurde von den drei beteiligten Gruppen (Kommission, Automobil- und Mineralölindustrie) eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und in Form einer Synopsis veröffentlicht (SYN95, CON95). Für Ottomotorfahrzeuge mit und ohne Katalysator wurden Gleichungen angegeben, die den Benzolgehalt im Abgas mit dem Benzol- und dem Aromatengehalt im Kraftstoff korrelieren. Diese Gleichungen sind geeignet, für einen durchschnittlichen Betrieb wie ihn z.B. der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ) oder der US-FTP-Zyklus darstellen, die Benzolemissionen im Abgas zu berechnen. Eine Aufspaltung auf einzelne Fahrzustände kann nur über chemisch-physikalische Vorstellungen zur Herkunft des Benzols im Abgas erstellt werden.

Mit diesen Gleichungen wurden die Benzolemissionen für den Basiskraftstoff sowie die drei Szenarien gerechnet. Daraus ergeben sich die in der folgenden Tabelle angegebenen Minderungen für Otto-Pkw mit und ohne Katalysator. Die angegebenen Minderungen ergeben sich allein aus der Reduktion der aromatischen Bestandteile des OK, der Effekt der Änderung anderer Kraftstoffparameter ist hierin noch nicht enthalten.

Tabelle 7: Benzol-Minderung nur durch Benzol/Aromaten-Variation

Kraftstoff	ohne Katalysator	mit Katalysator
Kommission	- 6,8 %	- 4,2 %
UBA	- 35 %	- 38 %
RFG II	- 40,5 %	- 48,9 %

Mit dem “Complex Model” der US EPA können explizit die Benzol-Abgasemissionen berechnet werden und es ergeben sich Minderungen für den Kommissionsvorschlag von 11%, für den UBA-Kraftstoff von 49 % und für RFG II von 57 %. Die “Complex Model”-Werte liegen alle deutlich über den EPEFE-Ergebnissen, was wegen der Berücksichtigung aller relevanten Kraftstoffparameter zu erwarten war.

Im Anhang I wird beschrieben, wie eine Abschätzung der Benzol-Gesamtminderung für europäische G-Kat-Pkw durchgeführt wurde. Die Abschätzung zeigt, daß für die Kraftstoffe mit starker Benzol- und Aromatengehaltsminderung (UBA/RFG II) die zusätzlichen Minderungseffekte durch andere Kraftstoffparameter absolut und relativ klein sind (3-6% bei einer Gesamtminderung der Benzolemission von 40-50%). Für den Kommissionskraftstoff mit nur geringer Benzol- und Aromatenabsenkung ergeben sich durch die Änderung anderer Kraftstoffparameter für die Benzolemission absolut und relativ vergleichbare Minderungseffekte (2-4 % bei einer Gesamtminderung der Benzolemission von 8-9%).

Daraus leiten sich die Minderungsraten der Tabelle 8 ab. Ausgehend von diesen Minderungen wurden die in den weiter unten folgenden Tabellen aufgeführten Minderungsfaktoren für die einzelnen Fahrzustände entwickelt.

Tabelle 8: Benzol-Minderungen (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	ohne Katalysator	mit Katalysator
Kommission	- 7 %	- 8 %
UBA	- 40 %	- 42 %
RFG II	- 44 %	- 53 %

4.1.3 Verdunstungs/Verdrängungsemissionen beim Ottokraftstoff

Durch Kraftstoffänderungen werden die HC- und die Benzol-Verdunstungs- und Verdrängungsemissionen verändert, und zwar HC vor allem durch den Dampfdruck RVP und Benzol durch den Benzolgehalt des OK.

Laut DRE95 bewirkt eine RVP-Absenkung von 67 auf 60 kPa eine Minderung für HC von 8% und für Benzol von 5%. Laut SHELL94 (“Benzolemissionen aus OK”) bewirkt eine Halbierung des Benzolgehaltes im OK (von 2Vol% auf 1Vol%) bei modernen Fahrzeugen eine Halbierung der Benzol-Tankatmungsverluste.

Unter der Annahme, daß sich die relative Minderung in der flüssigen Phase in den Benzol-Verdunstungs- und Verdrängungsemissionen wiederfindet, ergibt sich für das Kommissionszenario eine Absenkung um 20%, für den UBA-Vorschlag und das kalifornische RFG II eine Absenkung um 60%.

Mit dem “Complex Model” der US EPA (EPA96) ergibt sich für Benzol für das Kommissionszenario eine Absenkung um 39%, für den UBA-Kraftstoff und für RFG II um 69%. Für VOC ergibt sich für alle Szenarien eine Minderung um 28%. Die Ergebnisse des “Complex Model” liegen über den Abschätzungen anderer Quellen.

Aufgrund dieser Angaben werden Minderungen für die HC-Verdunstungs- und Verdrängungsemissionen für die drei Szenarien in gleicher Höhe von 10% für Pkw ohne Katalysator (und damit ohne Aktivkohlebehälter) und von 20% für Pkw mit Katalysator (mit AKB) ange-

nommen. Für Benzol beträgt die Minderung 20 % für das Kommissionsszenario und 60 % für den UBA-Kraftstoff und für RFG II.

4.1.4 CO-Minderung im Abgas beim Ottomotorfahrzeug

Ähnlich wie die HC-Abgasemissionen werden die CO-Emissionen durch eine ganze Reihe von Parametern beeinflusst, wobei wieder mehr Daten für Katalysatorfahrzeuge als für Nichtkatalysatorfahrzeuge vorliegen.

Für moderne Katalysatorfahrzeuge zeigen die Ergebnisse des EPEFE-Programms (EPEFE95, SHELL95) für eine Absenkung des Kraftstoffschwefels von 300 auf 100 ppm eine Minderung der CO-Emissionen um 6 %. Eine Absenkung des Aromatengehalts von 40 Vol% auf 30 Vol% bedeutet 5 % Minderung. Mittels der in SYN95 und EPEFE95 angegebenen Gleichungen können die Effekte einzelner Kraftstoffparameter auf die Emissionen berechnet werden:

Tabelle 9: CO-Minderung durch einzelne Parameter bei Katalysator-Pkw (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	Schwefel	Olefine	MTBE	E150	Aromaten
Kommission	-1,0 %	0	-6,3 %	0	0
UBA	-3,6 %	0	-6,3 %	-4 %	-6,3 %
RFG II	-5,1 %	0	-6,3 %	-4 %	-9,4 %

Der Effekt des Schwefels macht sich sehr stark im EUDC-Fahrzyklus bemerkbar, nur wenig im ECE-Fahrzyklus.

Nach Berechnungen der Kommission für den UBA-Kraftstoff ergibt sich eine CO-Minderung um 13 % (KOM95/1, KOM95/2). Für Nichtkatalysatorfahrzeuge macht sich MTBE stärker bemerkbar, hingegen wirkt sich die Schwefelminderung nicht aus.

Tabelle 10: CO-Minderung durch einzelne Parameter bei Otto-Pkw ohne Katalysator (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	Schwefel	Olefine	MTBE	E150	Aromaten
Kommission	0	0	-12,6 %	0	k.A.
UBA	0	0	-12,6 %	-4 %	k.A.
RFG II	0	0	-12,6 %	-4 %	k.A.

Daraus werden die Minderungen der Tabelle 11 abgeleitet: Ausgehend von diesen Minderungen wurden die in den weiter unten folgenden Tabellen aufgeführten Minderungsfaktoren für die einzelnen Fahrzustände entwickelt.

Tabelle 11: CO-Minderungen (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	ohne Katalysator	mit Katalysator
Kommission	- 12 %	- 8 %
UBA	- 12 %	- 15 %
RFG II	- 12 %	- 19 %

4.1.5 NO_x-Minderung im Abgas beim Ottomotorfahrzeug

NO_x wird als die entscheidende Komponente in der Luftqualitätsmodellierung für Europa angesehen (KOM95/1, KOM95/2), deren Emission gemindert werden muß.

Für Otto-Pkw ohne Katalysator kommt Drechsler in einer Literaturlauswertung (DRE95) auf eine NO_x-Minderung von 10 % für den UBA-Kraftstoff (durch den Ersatz der Aromaten durch Komponenten mit höherem H/C-Verhältnis). Untersuchungen an Stationärmotoren (KOS96) mit aromatenarmen Kraftstoffen zeigen eine Reduktion von NO_x, aber auch der anderen limitierten Komponenten vor Katalysator, was der bestehenden Fahrzeugflotte ohne Katalysator zugute käme.

Der Einfluß verschiedener Kraftstoffparameter auf die NO_x-Emissionen von Otto-Pkw ohne Katalysator ist in der EPEFE-Synopsis (SYN95) zusammengefaßt worden. Mit den Gleichungen aus SYN95 ergeben sich folgende Minderungen:

Tabelle 12: NO_x-Minderung durch einzelne Parameter bei Otto-Pkw ohne Katalysator (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	Schwefel	Olefine	MTBE	E150	Aromaten
Kommission	0	0	0	0	k.A.
UBA	0	-1,2 %	0	+4 %	k.A.
RFG II	0	-4,8 %	0	+4 %	k.A.

Für Katalysatorfahrzeuge deuten die EPEFE-Untersuchungen (EPEFE95, SHELL95) für eine Absenkung des Kraftstoffschwefels von 300 auf 100 ppm auf eine NO_x-Minderung von 6% hin. Durch eine Absenkung des Aromatengehalts von 40Vol% auf 30Vol% steigt jedoch die NO_x-Emission um 5%. Diese gegensätzlichen Effekte führen nach Berechnungen der Kommission für den UBA-Kraftstoff für Katalysatorfahrzeuge zu einem NO_x-Anstieg um 3% (KOM95/1, KOM95/2).

Das “Complex Model” hingegen kommt für den Kommissionsvorschlag zu einer Minderung von 2%, für den UBA-Vorschlag von 7,1% und für RFG II von 12%.

Nach EPEFE (EPEFE95, SHELL95) bewirkt die Aromatenabsenkung eine NO_x-Steigerung im EUDC und eine Minderung im ECE, was durch die Gewichtung insgesamt zu einer Stei-

gerung führt. Ein Vergleich der EPEFE-Daten mit einer Reihe von Einzeluntersuchungen zeigt jedoch, daß das EUDC-Ergebnis das einzige ist, das einen so starken NO_x -Anstieg zeigt, während sonst geringe NO_x -Minderungen von 1 % bis 10 % für Aromatenreduktionen im Bereich von 5-20 % gefunden wurden.

Eine Erklärung für den Anstieg der NO_x -Emissionen geben Kostka et al. (KOS96). Demnach bewirkt eine starke Aromatenabsenkung im Kraftstoff ein Ausmageren des Rohabgases in bestimmten Arbeitspunkten, was ein Verlassen des Katalysatorfensters (des optimalen Konvertierungsbereichs) zur Folge hat. Neben einer veränderten Kohlenwasserstoffzusammensetzung des Abgases führt diese Ausmagerung maßgeblich zu einer beeinträchtigten Katalysatorkonvertierung der Stickoxide. Während also aromatenreduzierte Ottokraftstoffe Vorteile in Hinblick auf die NO_x -Emissionen konventioneller Pkw ohne Abgasnachbehandlung, sowie im Warmlauf aller Otto-Pkw mit geregelter Katalysator bringen würden, ist bei den derzeit im Verkehr befindlichen Katalysator-Fahrzeugen im betriebswarmen Zustand mit einer Verschlechterung des NO_x -Abgasemissionsverhaltens zu rechnen (KOH96). Dieser Anstieg der Stickoxidemission ist jedoch durch eine optimierte Abstimmung kritischer Arbeitspunkte kompensierbar, so daß auch für Katalysatorfahrzeuge in allen Betriebspunkten eine Reduktion der limitierten Komponenten durch aromatenarme Kraftstoffe realisiert werden kann (KOS 96).

Untersuchungen des TÜV Rheinland (Has94) zeigen jedoch, daß bei fast allen Otto-Pkw eine Verschiebung der Lambda-Abstimmung in Richtung “fett” ($\lambda \leq 0,98$) bei Geschwindigkeiten über 120 km/h, vielfach schon ab 80 km/h, stattfindet, so daß im realen Fahrbetrieb auf der Straße die im EUDC beobachtete Abmagerung und die dadurch verursachte verminderte NO_x -Konvertierung nicht beobachtet wird.

Der Einfluß weiterer Parameter ist in der folgenden Tabelle dargestellt (SYN95):

Tabelle 13: NO_x -Minderung durch einzelne Parameter bei Katalysator-Pkw (relativ zum Basiskraftstoff)

Kraftstoff	Schwefel	Olefine	MTBE	E150	Aromaten*
Kommission	-1,2 %	0	+1,2 %	0	0
UBA	-4,2 %	-0,4 %	+1,2 %	+4 %	-5 %
RFG II	-5,9 %	-1,6 %	+1,2 %	+4 %	-5,8 %
* abgeschätzt laut der in diesem Kapitel angegebenen Quellen.					

Schlußfolgernd wird darum von einer deutlichen NO_x -Minderung von 10 % für Nichtkatalysatorfahrzeuge für den UBA-Kraftstoff ausgegangen, während hier konservativ nur ein geringer Effekt von -5 % für Katalysatorfahrzeuge innerorts und gleichbleibende Emissionen außerorts und auf Autobahnen für alle Kraftstoffe postuliert werden.

4.1.6 Tabellen der abgeleiteten Minderungsfaktoren für Otto-Fahrzeuge (relativ zum Basiskraftstoff)

Tabelle 14: Kommissionsvorschlag: Ottokraftstoff (neuer Vorschlag Mai 1996)

Parameter	ohne Katalysator	mit Katalysator Innerorts	mit Katalysator Außerorts	mit Katalysator Autobahn
Benzol Warmbetrieb	- 6 %	- 7 %	- 5 %	- 5 %
Benzol Kaltstart	- 8 %	- 9 %		
Benzol Verdunstung / Verdrängung	- 20 %	- 20 %		
HC Warmbetrieb	- 10 %	- 12 %	- 10 %	- 10 %
HC Kaltstart	- 15 %	- 16 %		
HC Verdunstung	- 10 %	- 20 %		
HC Verdrängung	- 10 %	- 20 %		
CO	- 12 %	- 8 %	- 8 %	- 8 %
NO _x	+ - 0	- 0 %	+ - 0	+ - 0
Schwefel-Verbindungen	- 60 %	- 60 %	- 60 %	- 60 %

Tabelle 15: Vorschlag UBA: Ottokraftstoff

Parameter	ohne Katalysator	mit Katalysator Innerorts	mit Katalysator Außerorts	mit Katalysator Autobahn
Benzol Warmbetrieb	- 36 %	- 38 %	- 30 %	- 30 %
Benzol Kaltstart	- 42 %	- 44 %		
Benzol Verdunstung / Verdrängung	- 60 %	- 60 %		
HC Warmbetrieb	- 10 %	- 14 %	- 10 %	- 10 %
HC Kaltstart	- 15 %	- 18 %		
HC Verdunstung	- 10 %	- 20 %		
HC Verdrängung	- 10 %	- 20 %		
CO	- 12 %	- 15 %	- 15 %	- 15 %
NO _x	- 10 %	- 5 %	+ - 0	+ - 0
Schwefel-Verbindungen	- 60 %	- 60 %	- 60 %	- 60 %

Tabelle 16: Ottokraftstoff entsprechend kalifornischem RFG II

Parameter	ohne Katalysator	mit Katalysator Innerorts	mit Katalysator Außerorts	mit Katalysator Autobahn
Benzol Warmbetrieb	- 40 %	- 50 %	- 40 %	- 40 %
Benzol Kaltstart	- 46 %	- 56 %		
Benzol Verdunstung / Verdrängung	- 60 %	- 60 %		
HC Warmbetrieb	- 13 %	- 18 %	- 15 %	- 15 %
HC Kaltstart	- 17 %	- 22 %		
HC Verdunstung	- 10 %	- 20 %		
HC Verdrängung	- 10 %	- 20 %		
CO	- 12 %	- 19 %	- 19 %	- 19 %
NO _x	- 10 %	- 5 %	+ - 0	+ - 0
Schwefel-Verbindungen	- 80 %	- 80 %	- 80 %	- 80 %

4.2 Auswirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen für Ottokraftstoffe

In der Tabelle 17 sind die Emissionen von Otto-Kfz in Deutschland für die Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 zusammengefaßt. Eine grafische Darstellung der Entwicklung der Emissionen von HC, Benzol, NO_x und CO von 1995-2010 findet sich in Abb. 4, für Benzol im Innerortsverkehr in Abb. 5. Berechnet wurde das Szenario Euro II mit einer Einphasung des geänderten OK innerhalb von drei Jahren (1998 bis 2000, vgl. Kap. 3.1 und 3.2)

Für die HC-Abgas- und Verdunstungsemissionen ergeben sich für die drei Kraftstoffvorschläge ähnliche Minderungen, die für das Jahr 2005 für den Kommissionsvorschlag 14%, für den Vorschlag UBA 16% und für den Vorschlag Kalifornien 19% betragen. Etwas größere Unterschiede ergeben sich bei CO (Minderungen für das Jahr 2005 für den Kommissionsvorschlag von 9%, für den Vorschlag UBA von 15% und für den Vorschlag Kalifornien 18%). Für NO_x ergibt sich für den Kommissionsvorschlag keinerlei Änderung zum Basisfall, für die beiden anderen Vorschläge eine geringe Minderung von 2%.

Am deutlichsten sind die Unterschiede beim Benzol. Während beim Kommissionsvorschlag nur eine geringe Minderung von 8% zu erwarten ist, ergibt sich für den Vorschlag UBA eine Minderung um 40% und für den Vorschlag Kalifornien sogar von 50% bei der Benzolemission des Gesamt-Otto-Straßenverkehrs. Im Innerortsbereich ist die Minderung noch um 1 bis 3% höher. Dabei macht sich die starke Benzolminderung sofort mit der Einphasung des reformulierten Kraftstoffs 1998 bemerkbar, so daß schon für das Jahr 2000 mit dem Vorschlag UBA fast eine Halbierung der Benzolbelastung im Innerortsbereich möglich ist.

Tabelle 17: Ergebnistabelle Ottokraftstoffe Euro II (Absolutemissionen und darauf bezogene Minderungen in Prozent)

		1995	2000	2005	2010
HC	Basisszenario (kt)	540	270	157	129
HC	Kommissionsvorschlag	0%	-13%	-14%	-15%
HC	Vorschlag UBA	0%	-14%	-16%	-16%
HC	Vorschlag Kalifornien	0%	-17%	-19%	-19%
Benzol	Basisszenario (kt)	25,4	13,6	8,4	6,8
Benzol	Kommissionsvorschlag	0%	-8%	-8%	-8%
Benzol	Vorschlag UBA	0%	-39%	-40%	-40%
Benzol	Vorschlag Kalifornien	0%	-48%	-50%	-50%
Benzol in- nerorts	Basisszenario (kt)	16,6	9,4	6,0	5,0
Benzol in- nerorts	Kommissionsvorschlag	0%	-9%	-9%	-9%
Benzol in- nerorts	Vorschlag UBA	0%	-42%	-43%	-43%
Benzol in- nerorts	Vorschlag Kalifornien	0%	-51%	-54%	-53%
CO	Basisszenario (kt)	3.375	2.165	1.447	1.182
CO	Kommissionsvorschlag	0%	-9%	-9%	-8%
CO	Vorschlag UBA	0%	-14%	-15%	-15%
CO	Vorschlag Kalifornien	0%	-17%	-18%	-18%
NO _x	Basisszenario (kt)	467	357	304	281
NO _x	Kommissionsvorschlag	0%	0%	0%	0%
NO _x	Vorschlag UBA	0%	-3%	-2%	-2%
NO _x	Vorschlag Kalifornien	0%	-3%	-2%	-2%

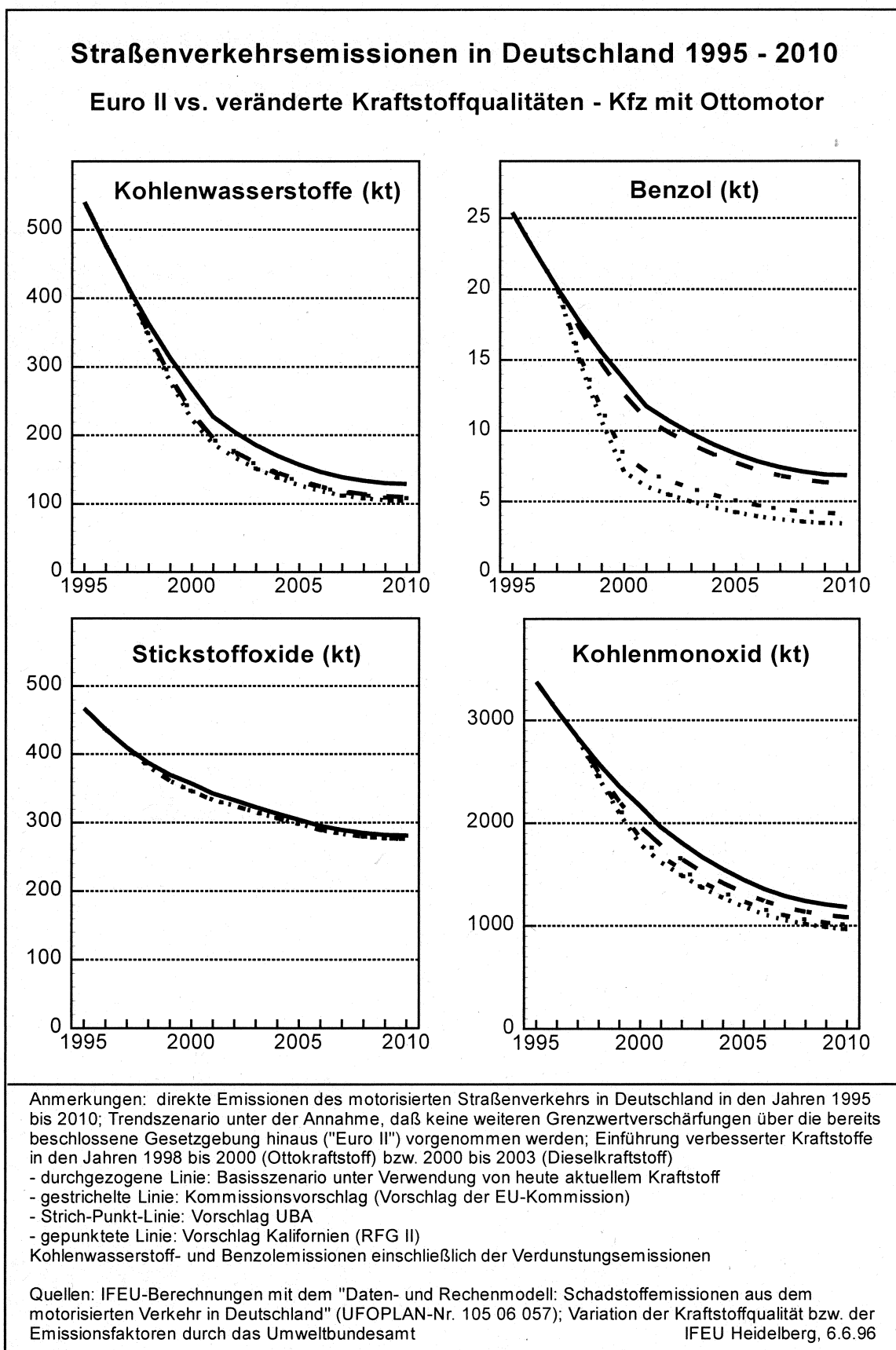


Abb. 4

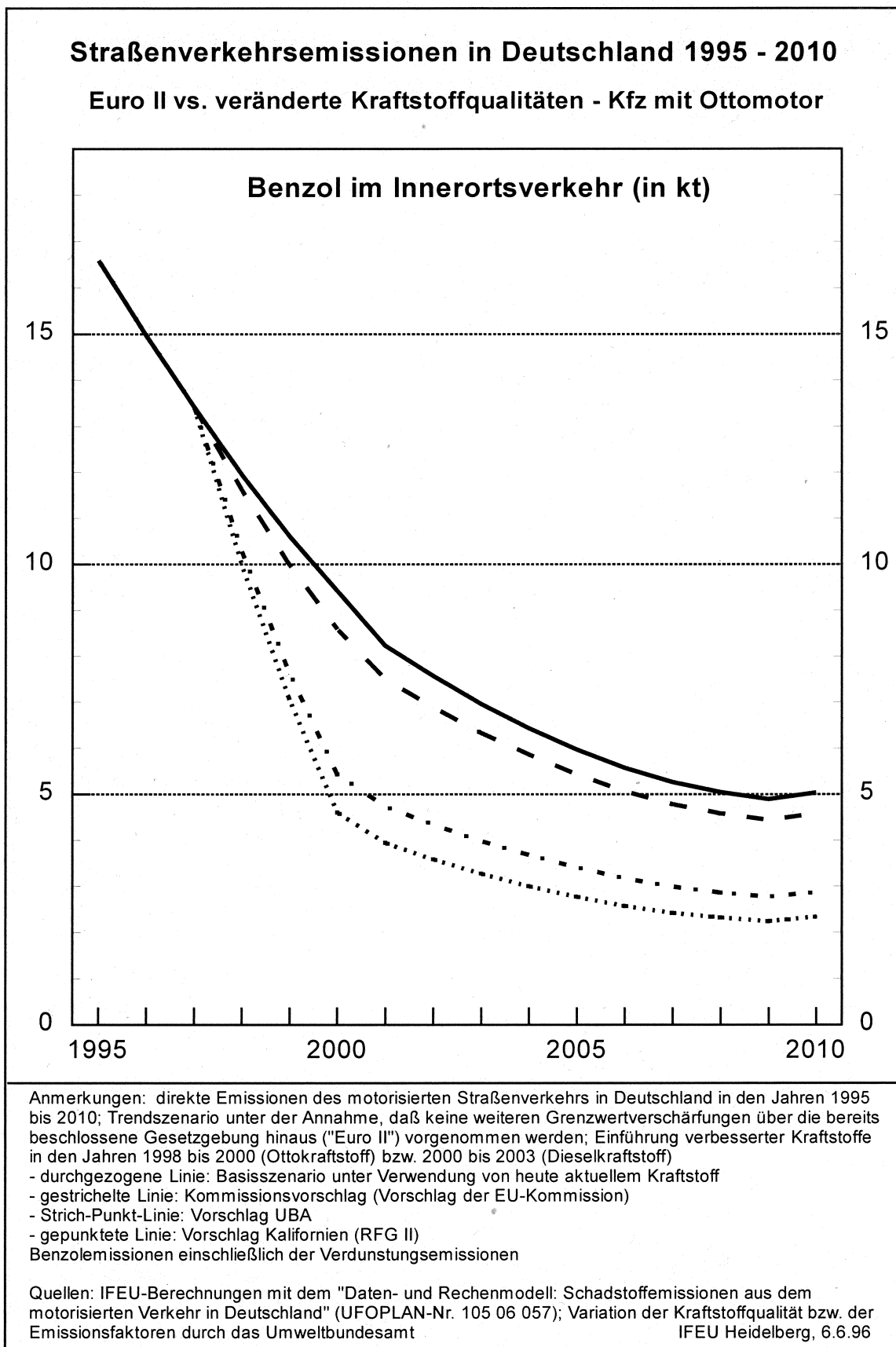


Abb. 5

5 Ableitung der Minderungsfaktoren und deren Auswirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen für Dieselmkraftstoffe

5.1 Ableitung der Minderungsfaktoren

Die Tabelle 18 zeigt die charakteristischen Werte für die Dieselmkraftstoffe: Neben dem für Deutschland gültigen Basiskraftstoff sind dies die Vorschläge der Kommission und des UBA sowie ein dem schwedischen Environmental Class 1 DK entsprechender Kraftstoff.

Tabelle 18: Dieselmkraftstoff: Einphasung je 25% in 2000, 2001, 2002 und 2003 (Berechnungsannahmen):

Parameter	Basiskraftstoff	Kommissionsvorschlag *	Vorschlag UBA	DK entsprechend schwedischem EC 1
Schwefel ppm	450	350	50	10
Aromaten Vol%	10	10 **	10 **	5
Polyaromaten	9 Vol%	11 Vol%	1 Vol%	0,1 Vol%
Cetanzahl	51	51	54	54
Dichte g/l	843	845	825	810
T95 °C	355	360	310	285

* Wo der Kommissionsvorschlag vom Mai 1996 hinter den Basiswerten zurückbleibt, wurden letztere angesetzt. Für die Berechnungen wurden bei allen Vorschlägen etwas geringere Werte verwendet, so wie sie im Feld zu erwarten sind.

** Bzgl. des Aromatengehalts wird im Kommissionsvorschlag und im Vorschlag UBA keine Angabe gemacht, so daß hier der Wert des Basiskraftstoffs angenommen wird. Damit wird die Emissionsminderung eher unterschätzt, da bei der eingesetzten Raffinerietechnik auch mit einer Absenkung des Aromatengehaltes zu rechnen ist..

Wie bereits im Kapitel 3.2 beschrieben, wurden für die Berechnungen die Parameter des von der Kommission im Mai 1996 zugänglich gemachten Vorschlags, die hinter dem Basiskraftstoff zurückbleiben, durch die Werte des Basiskraftstoffwerts ersetzt. Generell wurden für die Berechnungen bei allen Vorschlägen etwas geringere Werte verwendet, so wie sie im Feld zu erwarten sind. Bzgl. des Aromatengehalts wird im Kommissionsvorschlag und im Vorschlag UBA keine Angabe gemacht, so daß hier der Wert des Basiskraftstoffs angenommen wird. Damit wird die Emissionsminderung eher unterschätzt, da bei der eingesetzten Raffinerietechnik auch mit einer Absenkung des Aromatengehaltes zu rechnen ist.

Damit unterscheidet sich der Kommissionskraftstoff bis auf den Schwefelgehalt praktisch nicht von den marktüblichen Mittelwerten in Deutschland. Mit Einführung dieser Grenzwerte für das Jahr 2000 sind keine wesentlichen Minderungen bei NO_x und Partikeln zu erwarten. Deutlich schärfere Anforderungen stellen hingegen der UBA-Vorschlag und der schwedische EC 1 DK. Besonders wichtig ist beim Vorschlag UBA die Herabsetzung des Schwefelgehal-

tes, da ein niedriger Schwefelgehalt den Einsatz von noch in der Entwicklung befindlichen Minderungstechniken wie z.B. den DeNOx-Katalysator erleichtern wird.

Die unterschiedlichen Kraftstoffparameter wirken sich unterschiedlich bei Pkw und Nfz aus. Nach den vorliegenden Untersuchungen wirken sich bei Nfz vor allem der Schwefelgehalt und die Cetanzahl auf die Partikelemission aus, und Cetanzahl und Gesamtaromaten auf NO_x , während bei Pkw neben dem Schwefel vor allem die Dichte und die Polyaromaten die Partikelemission beeinflussen.

Bei Nfz (ohne Oxidationskatalysator) hat den größten Einfluß der Schwefelgehalt: eine Absenkung von 500 auf 50 ppm bedeutet für Euro I Motoren eine Partikelminderung um 4-5 % und für Euro II Motoren um ca. 15 % (LAN95, GAI94, LAN93, SYN95). Eine zusätzliche Steigerung der Cetanzahl bedeutet eine weitere Partikelminderung um 1-2 %. Eine weitere Schwefelminderung auf 10 ppm scheint nach vorliegenden Daten keine wesentlichen zusätzlichen Partikelminderungen bei Nutzfahrzeugen zu bringen. Extrem schwefelarme DK (10 ppm S) vereinfachen aber die Einführung von (verbesserten) Katalysatoren als auch neuer Minderungstechnologien, sind jedoch nicht Voraussetzung. Das Potential kann aber nicht quantitativ berücksichtigt werden. Eine Erhöhung der Cetanzahl wirkt sich auch positiv auf die Geräuschbelastung sowie die sichtbaren Emissionen (Rauch) beim Kaltstart aus.

Die im EPEFE-Programm für Nutzfahrzeuge abgeleitete lineare Beziehung für NO_x erfaßt nach neueren Veröffentlichungen (SIG96) nicht alle wichtigen Parameter. Bei der Berücksichtigung des Gesamtaromatengehaltes ergibt sich eine bessere Übereinstimmung mit den Meßwerten für den schwedischen EC 1 DK, so daß eine NO_x -Minderung von ca. 12 % angenommen werden kann.

Weniger aussagefähig als bei Nutzfahrzeugen ist die vorliegende Datenbasis bei Pkw. Für Pkw ohne Oxidationskatalysator ist der Schwefeleinfluß auf die Partikelemission geringer als beim schweren Nutzfahrzeug, da im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) relativ niedrige Abgastemperaturen im Vergleich zum 13-Stufen-Test auftreten. Da inzwischen aber fast alle Diesel-Pkw mit Oxidationskatalysator angeboten werden, findet hier eine Sulfatbildung hauptsächlich über den Katalysator statt, so daß von einem starken Schwefeleinfluß ausgegangen werden kann. Nach den wenigen vorliegenden Angaben ist sowohl für Nfz als auch für Pkw mit und ohne Oxidationskatalysator von einer linearen Beziehung zwischen Kraftstoffschwefelgehalt und Sulfatmission und in eingeschränktem Masse auch der Partikelemission auszugehen (SYN95). Da die Oxidationsfähigkeit des Katalysators durch Schwefel beeinträchtigt wird, dürfte sich eine Absenkung des Schwefelgehaltes auf sehr niedrige Werte generell positiv auf die Minderungsfähigkeit des Katalysators für HC, CO und die lösliche Fraktion der Partikel auswirken. Bei Pkw mit Oxidationskatalysator scheinen hauptsächlich Schwefelgehalt, Dichte und Polyaromatengehalt die Partikelemission zu bestimmen.

Emissionsminderungen für Dieselfahrzeuge wurden im Rahmen des europäischen Auto-Öl-Programms berechnet. In KOM95/1 sind die betrachteten Kraftstoffszenarien beschrieben, die entsprechenden Ergebnisse finden sich in KOM95/1 und KOM95/2. Der Kommissionsvorschlag liegt zwischen dem Base Average und dem Szenario I, der UBA-Vorschlag kann ungefähr mit dem Szenario III verglichen werden. Die den Szenarien zugrundeliegende Fahrzeugtechnik entspricht für schwere Nutzfahrzeuge einem Standard zwischen Euro I und Euro II, für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge zwischen Euro II und Euro III. In KOM95/1 finden sich auch Angaben zu den Emissionsminderungen durch den UBA-Kraftstoff.

Aus den aufgeführten Literaturdaten ergeben sich die in den folgenden Tabellen angegebenen Minderungsraten. Die SO₂-Minderung wurde linear aus der Schwefelminderung berechnet.

Beim Diesel sind insbesondere NO_x und Partikel von Bedeutung. Aus den vorliegenden Daten wird für den Kommissionsvorschlag von einer gleichbleibenden NO_x-Emission ausgegangen, für den UBA-Vorschlag ergibt sich eine leichte Minderung, die für den schwedischen EC 1 DK bei den Nutzfahrzeugen stärker ausfällt. Bei den Partikel finden sich für alle Kraftstoffe Minderungen, die jedoch für den UBA-Vorschlag und den Schwedendiesel ca. dreifach so hoch ausfallen wie für den Kommissionsvorschlag. Für Diesel-Pkw ohne OxKat wird konservativ von nur sehr geringen Minderungen ausgegangen. Für Pkw mit OxKat vor Euro II wird wegen der größeren Schwefelemphindlichkeit der ersten Katalysatorgeneration sowie wegen des höheren Sulfatanteils der Partikel ein deutlicherer Effekt bei den Partikeln angenommen als bei Euro II und III. Es gibt aber auch Hinweise, das ein extrem schwefel-ärmer DK entsprechend dem schwedischen EC 1 bei modernen Pkw Partikelminderungen bis zu 50% erzielen kann.

Tabelle 19: Kommissionsvorschlag: Dieseldkraftstoff (Vorschlag der EU-Kommission) (relativ zum Basiskraftstoff)

Parameter	sNfz Euro 0/I	sNfz Euro II/III	Pkw/INfz ohne OxKat	Pkw/INfz mit OxKat	Pkw/INfz Euro II/III
SO ₂	- 20 %	- 20 %	- 20 %	- 20 %	- 20 %
NO _x	+ - 0	+ - 0	+ - 0	+ - 0	+ - 0
HC	+ - 0	+ - 0	+ - 0	+ - 0	- 7 %
CO	+ - 0	+ - 0	+ - 0	+ - 0	- 7 %
Partikel	- 1,5 %	- 4 %	+ - 0	- 8 %	- 6 %

Tabelle 20: Vorschlag UBA: Dieseldkraftstoff (relativ zum Basiskraftstoff)

Parameter	sNfz Euro 0/I	sNfz Euro II/III	Pkw/INfz ohne OxKat	Pkw/INfz mit OxKat	Pkw/INfz Euro II/III
SO ₂	- 85 %	- 85 %	- 85 %	- 85 %	- 85 %
NO _x	- 5 %	- 5 %	- 1 %	- 1 %	- 1 %
HC	+ 4 %	+ 4 %	+ - 0	- 5 %	- 24 %
CO	+ - 0	+ - 0	+ - 0	- 5 %	- 24 %
Partikel	- 5 %	- 15 %	- 3 %	- 20 %	- 15 %

Tabelle 21: Dieselkraftstoff entsprechend schwedischem DK EC 1 (relativ zum Basis kraftstoff)

Parameter	sNfz Euro 0/I	sNfz Euro II/III	Pkw/INfz ohne OxKat	Pkw/INfz mit OxKat	Pkw/INfz Euro II/III
SO ₂	- 97 %	- 97 %	- 97 %	- 97 %	- 97 %
NO _x	- 10 %	- 10 %	- 1 %	- 1 %	- 1 %
HC	+ 15 %	+ 15 %	+ - 0	- 5 %	- 30 %
CO	+ - 0	+ - 0	+ - 0	- 5 %	- 30 %
Partikel	- 6 %	- 16 %	- 5 %	- 30 %	- 25 %

5.2 Auswirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen für Dieselkraftstoffe

In der Tabelle 22 sind die Emissionen von Diesel-Kfz in Deutschland für die Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 zusammengefaßt. Eine grafische Darstellung der Entwicklung der Emissionen von HC, Partikeln, NO_x und CO von 1995-2010 findet sich in Abbildung 6, in Abbildung 7 ist die Entwicklung für die Partikel noch einmal gesondert dargestellt. Berechnet wurde das Szenario Euro II mit einer Einphasung des geänderten DK innerhalb von vier Jahren (2000 bis 2003, vgl. Kap. 3.1 und 3.2).

Für HC ergeben sich für den Kommissionsvorschlag und für den Vorschlag UBA praktisch keine Änderungen zum Basisfall, für den Vorschlag Schweden ist jedoch ein leichter Anstieg der HC-Emissionen zu beobachten, der im Jahr 2000 3% und in 2005 und 2010 8% beträgt. Ebenso steigen die Benzolemissionen des Gesamt-Diesel-Straßenverkehrs, die jedoch mengenmäßig im Vergleich zu den Ottomotoremissionen gering sind. Im Innerortsbereich ist die Minderung für den Kommissionsvorschlag und für den Vorschlag UBA etwas größer mit 2 bis 5%, während für den Vorschlag Schweden der Anstieg mit nur 3% geringer ausfällt.

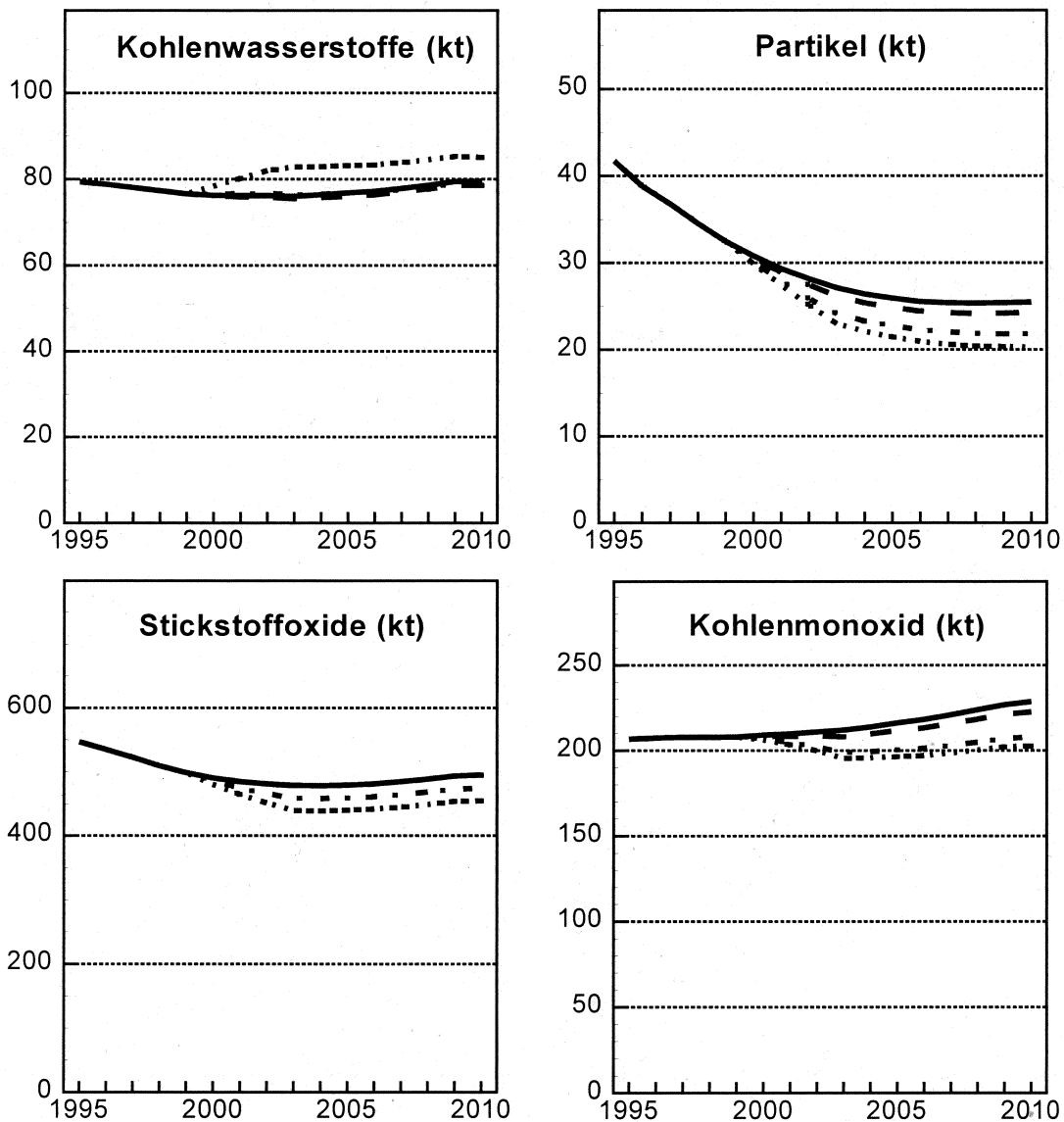
Etwas größere Unterschiede ergeben sich bei CO (Minderungen für das Jahr 2005 für den Kommissionsvorschlag von 2%, für den Vorschlag UBA von 7% und für den Vorschlag Schweden 9%). Für NO_x ergibt sich für den Kommissionsvorschlag keinerlei Änderung zum Basisfall, für die beiden anderen Vorschläge eine Minderung von 4% bzw. 8%. Am deutlichsten sind die Unterschiede bei den Partikeln. Während mit dem Kommissionsvorschlag nur eine geringe Minderung von 5% zu erwarten ist, ergibt sich für den Vorschlag UBA eine Minderung um bis 14% im Jahr 2010 und für den Vorschlag Schweden von bis zu 20%. Die entscheidenden Schadstoffe bei Dieselfahrzeugen, NO_x und Partikel, können also mit den Kraftstoffen Vorschlag UBA und Vorschlag Schweden signifikant gemindert werden. Der Vorschlag UBA hat praktisch keine negativen Auswirkungen auf andere Schadstoffemissionen.

Tabelle 22: Ergebnistabelle Dieseldiebstoffe Euro II

		1995	2000	2005	2010
HC	Basisszenario (kt)	79	76	77	80
HC	Kommissionsvorschlag	0%	0%	-1%	-1%
HC	Vorschlag UBA	0%	0%	0%	-1%
HC	Vorschlag Schweden	0%	3%	8%	7%
Benzol	Basisszenario (kt)	1,5	1,4	1,5	1,5
Benzol	Kommissionsvorschlag	0%	0%	-1%	-1%
Benzol	Vorschlag UBA	0%	0%	0%	-1%
Benzol	Vorschlag Schweden	0%	3%	8%	7%
Benzol in- nerorts	Basisszenario (kt)	0,6	0,5	0,5	0,5
Benzol in- nerorts	Kommissionsvorschlag	0%	0%	-2%	-2%
Benzol in- nerorts	Vorschlag UBA	0%	0%	-3%	-5%
Benzol in- nerorts	Vorschlag Schweden	0%	2%	3%	1%
CO	Basisszenario (kt)	207	209	216	229
CO	Kommissionsvorschlag	0%	0%	-2%	-3%
CO	Vorschlag UBA	0%	-1%	-7%	-9%
CO	Vorschlag Schweden	0%	-1%	-9%	-11%
NO _x	Basisszenario (kt)	547	491	479	495
NO _x	Kommissionsvorschlag	0%	0%	0%	0%
NO _x	Vorschlag UBA	0%	-1%	-4%	-4%
NO _x	Vorschlag Schweden	0%	-2%	-8%	-8%
Partikel	Basisszenario (kt)	42	31	26	25
Partikel	Kommissionsvorschlag	0%	-1%	-4%	-5%
Partikel	Vorschlag UBA	0%	-2%	-12%	-14%
Partikel	Vorschlag Schweden	0%	-3%	-17%	-20%

Straßenverkehrsemissionen in Deutschland 1995 - 2010

Euro II vs. veränderte Kraftstoffqualitäten - Kfz mit Dieselmotor



Anmerkungen:

direkte Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2010; Trendszenario unter der Annahme, daß keine weiteren Grenzwertverschärfungen über die bereits beschlossene Gesetzgebung hinaus ("Euro II") vorgenommen werden; Einführung verbesserter Kraftstoffe in den Jahren 1998 bis 2000 (Ottokraftstoff) bzw. 2000 bis 2003 (Dieselkraftstoff)

- durchgezogene Linie: Basisszenario unter Verwendung von heute aktuellem Kraftstoff
- gestrichelte Linie: Kommissionsvorschlag (Vorschlag der EU-Kommission)
- Strich-Punkt-Linie: Vorschlag UBA
- gepunktete Linie: Vorschlag Schweden (S EC 1)

Quellen: IFEU-Berechnungen mit dem "Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland" (UFOPLAN-Nr. 105 06 057); Variation der Kraftstoffqualität bzw. der Emissionsfaktoren durch das Umweltbundesamt
IFEU Heidelberg, 6.6.96

Abb. 6

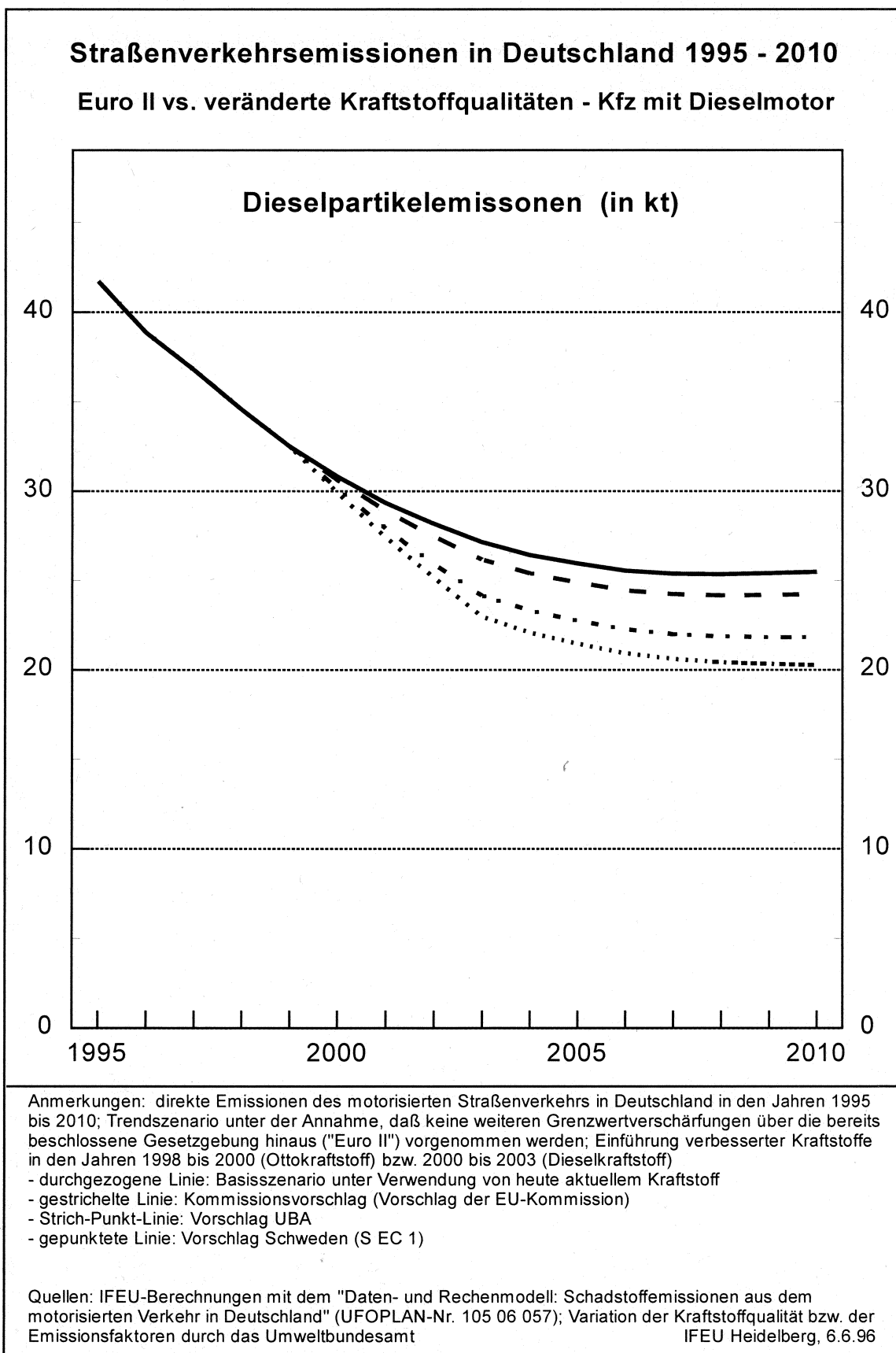


Abb. 7

6 Anhang I

Eine Abschätzung der Benzol-Gesamtminderung für europäische G-Kat-Pkw soll im folgenden versucht werden.

Von den in Kapitel 4.1.1 aufgeführten HC-Minderungen wird der Aromateneffekt bei der Benzolminderung schon berücksichtigt, durch andere Parameter als die Aromaten ergibt sich für HC ein weiterer Minderungseffekt von 6-10% für den UBA-Kraftstoff und RFG II, und 2-4% für den Kommissionskraftstoff.

Das Daten- und Rechenmodell des IFEU berechnet die HC- und Benzolemissionen in der Art, daß zuerst für das Basisszenario die HC-Emission und mit den entsprechenden Anteilsfaktoren die Benzolemission berechnet wird. Auf diese Emissionen werden dann die in dieser Arbeit abgeleiteten Minderungsfaktoren angewendet.

Als Abschätzungsdatensatz wird die Otto-Pkw Benzol- und HC-Emission des Jahres 2005 verwendet, die praktisch nur von Kat-Pkw herrührt. Die HC-Emission für dieses Jahr beträgt demnach 156971 t, die Benzol-Emission 8381 t, was einem Anteil von 5,34 m% entspricht. Für den UBA-Vorschlag und RFG II werden zwei Fälle betrachtet, eine HC-Minderung durch Nichtaromateneffekte von 6 % und von 10 %. Für den Kommissionsvorschlag sind dies HC-Minderungen um 4,2% und 6,8%:

Abschätzung des Einflusses von HC- und von Benzol- und Aromatenminderung auf die Benzolemission für 2005

Vorschlag UBA

HC-Minderung um 6% : HC-Emission	147552 t HC
Anteil Benzol an HC-Emission von 5,34%	7879 t Benzol
Benzolminderung um 38% (UBA)	4885 t Benzol
Gesamtminderung Benzol	- 41,7%
Differenz Gesamtmind. - Benzolmind.	3,7%
HC-Minderung um 10% : HC-Emission	141274 t HC
Anteil Benzol an HC-Emission von 5,34%	7544 t Benzol
Benzolminderung um 38% (UBA)	4677 t Benzol
Gesamtminderung Benzol	- 44,2%
Differenz Gesamtmind. - Benzolmind.	6,2%

Ottokraftstoff entsprechend kalifornischer RFG II

HC-Minderung um 6% : HC-Emission	147552 t HC
Anteil Benzol an HC-Emission von 5,34%	7879 t Benzol
Benzolminderung um 48,9% (RFG II)	4026 t Benzol
Gesamtminderung Benzol	- 52%
Differenz Gesamtmind. - Benzolmind.	3,1%
HC-Minderung um 10% : HC-Emission	141274 t HC
Anteil Benzol an HC-Emission von 5,34%	7544 t Benzol
Benzolminderung um 48,9% (RFG II)	3855 t Benzol
Gesamtminderung Benzol	- 54%
Differenz Gesamtmind. - Benzolmind.	5,1%

Kommissionsvorschlag

HC-Minderung um 4% : HC-Emission	150692 t HC
Anteil Benzol an HC-Emission von 5,34%	8047 t Benzol
Benzolminderung um 4,2% (Kom. Kat.)	7709 t Benzol
Gesamtminderung Benzol	- 8%
Differenz Gesamtmind. - Benzolmind.	4%
HC-Minderung um 2% : HC-Emission	153832 t HC
Anteil Benzol an HC-Emission von 5,34%	8215 t Benzol
Benzolminderung um 6,8% (Kom. n.Kat.)	7656 t Benzol
Gesamtminderung Benzol	- 8,7%
Differenz Gesamtmind. - Benzolmind.	1,9%

Während bei den Szenarien mit starker Benzolminderung durch den Benzol- und Aromatengehalt des OK (UBA/RFG II) die zusätzlichen Minderungseffekte absolut und relativ klein sind (3-6% bei einer Gesamtminderung von 40-50%), führen sie bei den Szenarien mit nur geringer Benzol- und Aromatenabsenkung im OK (Kom) zu absolut und relativ vergleichbaren Minderungseffekten (2-4 % bei einer Gesamtminderung von 8-9%).

7 Abkürzungsverzeichnis

CO	Kohlenmonoxid
DK	Diesekraftstoff
EC1	schwedischer DK Environmental Class 1 (DK Umweltklasse 1)
ECE	europäischer Stadtzyklus
EPEFE	European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies (europäisches Programm zu Emissionen, Kraftstoffen und Motortechnologien)
EUDC	Extra Urban Driving Cycle (außerstädtischer Fahrzyklus)
F+E-Vorhaben	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
G-Kat	geregelter Drei-Wege-Katalysator
HC	Kohlenwasserstoffe
high emitter	hochemittierendes Fahrzeug
Kfz	Kraftfahrzeug
KS	Kraftstoff
LAI	Länderausschuß für Immissionsschutz
INfz	leichtes Nutzfahrzeug
MTBE	Methyltertiärbutylether
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus (4 ECE + 1 EUDC)
NH ₃	Ammoniak
normal emitter	normalemittierendes Fahrzeug
NO _x	Stickstoffoxide
OK	Ottokraftstoff
OxKat	Oxidationskatalysator
Pkw	Personenkraftwagen
RFG II	kalifornisches Reformulated Gasoline Phase II (reformuliertes Benzin zweite Stufe)
RVP	Reid Vapor Pressure (Dampfdruck nach Reid)
SCR	Selektive Katalytische Reduktion

sNfz	schweres Nutzfahrzeug
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
UBA	deutsches Umweltbundesamt
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Vereinigte Staaten Umweltschutzbehörde)
US FTP Zyklus	US amerikanischer Fahrzyklus
VOC	Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)

8 Literatur

- ADL88 „Reduzierung des Schwefel- und Aromatengehalts von Dieselmotorkraftstoffen - Folgen für EEC Raffinerien“, ADL Ltd., UBA F+E-Vorhaben 104 08 318, Juli 1988.
- ADL93 „Modifying European Gasoline Composition to meet Enhanced Environmental Standards and its Impact on EC Refineries“, ADL Ltd., UBA F+E-Vorhaben 104 08 507, September 1993.
- CON95 „Correlating exhaust emission findings“, in: CONCAWE Review 4(2) 1995.
- DRE95 „Auswirkungen veränderter Ottokraftstoffe auf die Abgasemissionen und die Raffinerien“ W. Drechsler, Erdöl, Erdgas, Kohle 111(1) 1995 und pers. Mitteilung.
- EPA96 „Complex Model“, Computerprogramm der US EPA zur quantitativen Bewertung reformulierter Ottokraftstoffe, 1996.
- EPEFE95 „European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies“ (EPEFE), ACEA und EUROPIA, 9.10.1995.
- GAI94 „Der Einfluß von Kraftstoffeigenschaften auf die Abgasemissionen moderner Dieselmotoren von Mercedes Benz“, M.Gairing et al., MTZ 55(1) 1994.
- HAS94 „Abgas-Emissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland“, D.Hassel et al., UBA-Berichte 8/94.
- HAW96 Beitrag von M.Hawkins, in: World Conference on International Fuel Quality and Vehicle Technology, Brussels, 20.-22.5.1996.
- IFEU95 „Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980-2010“, U.Höpfner et al., VDI Berichte 1228 (1995) 279.
- KOH96 „Einfluß der Gesetzgebung auf die Pkw-Emissionen von limitierten und nicht limitierten Abgaskomponenten“, P.Kohoutek et al., Wiener Motorensymposium Frühjahr 1996.
- KOM95/1 Papier der EU-Kommission zu den Ergebnissen des europäischen Auto-Öl-Programms, vorgelegt auf der MVEG-Sitzung am 13.11.1995.
- KOM95/2 Papier der EU-Kommission zu den Ergebnissen des europäischen Auto-Öl-Programms, vorgelegt auf der MVEG-Sondersitzung am 7.12.1995.
- KOS96 „Auswirkungen von Kraftstoffreformulierungen auf das Emissionsverhalten moderner Kraftfahrzeuge mit geregelterm Drei-Wege-Katalysator“, J.Kostka et al., Wiener Motorensymposium Frühjahr 1996.
- LAN93 „Das Potential des Dieselmotorkraftstoffs zur Senkung von Partikel- und NO_x-Emissionen von Nutzfahrzeugen“, W.W.Lange et al., MTZ 54(10) 1993.
- LAN95 „Das Potential der Kraftstoffqualität für die Verbesserung von Verbrennung und Emissionsverhalten abgasoptimierter Nutzfahrzeug-Dieselmotoren“, W.W. Lange et al., in: Symposium Dieselmotorentechnik, Technische Akademie Esslingen, 7./8.12.1995.
- RFG96 „Reformulated Fuels Update“, CARB, May 1996.
- SHELL94 „Benzol im Ottokraftstoff“, UBA/Shell-Meeting, 26.5.1994.

SHELL95 "Neuere Untersuchungen zur Auswirkung veränderter Ottokraftstoffe auf die Abgasemissionen - das EPEFE-Programm" Shell Technischer Dienst, Vortrag, 2. Deutsches Kraftstoff-Kolloquium Bad Nauheim, 23./24.10.95.

SIG96 "European Auto-Oil Programme Heavy Duty Diesel Manufacturers View on Influence of Fuel Quality on Emissions", M.Signer, in: World Conference on International Fuel Quality and Vehicle Technology, Brussels, 20.-22.5.1996.

SYN95 "Effect of fuel qualities and related vehicle technologies on european vehicle emissions", Synopsis Rev. 1, EU-Kommission, ACEA und EUROPIA, 17.7.1995.