



**Fortschreibung und Erweiterung
"Daten- und Rechenmodell:
Energieverbrauch und
Schadstoffemissionen
des motorisierten Verkehrs
in Deutschland 1960-2030
(TREMODO, Version 5)**

Endbericht

Im Auftrag des Umweltbundesamtes
FKZ 3707 45 101

Heidelberg, 26.03.2010

Angaben zum Vorhaben

Auftraggeber:	Umweltbundesamt
FKZ-Nummer	3707 45 101
Verantwortung:	Die Verantwortung für den Inhalt dieses Gutachtens liegt bei den Autoren. Die hier dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen müssen nicht mit denjenigen des Auftraggebers übereinstimmen.
Fachliche Bearbeitung:	Wolfram Knörr unter Mitarbeit von Frank Kutzner, Udo Lambrecht, Alexander Schacht ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstr. 3, D-69120 Heidelberg Tel. 06221-4767-0; Fax -4767-19 Internet: www.ifeu.de
Gestaltung:	IFEU Heidelberg
Redaktionsschluss:	26. März 2010

Inhaltsübersicht

Teil 1: Übersicht	7
Was ist TREMOD?	8
Entstehung von TREMOD	8
Anforderungen an TREMOD	8
Inhalte von TREMOD	9
Räumliche und zeitliche Abgrenzung	9
Betrachtete Umweltkomponenten	9
Arten der Bilanzierung	9
Eingangsdaten	10
Ergebnisse	11
Konventionen und wichtige Kennzahlen	12
Energetische Kennzahlen und Umrechnungsfaktoren	12
Kohlendioxidemissionen	12
Schwefeldioxid und Blei	13
Energetische Vorketten	13
Teil 2: Entwicklung 1960-2008	15
Entwicklung der Verkehrsleistungen aller Verkehrsträger	16
Verkehrsleistungen im Personenverkehr	16
Transportleistungen im Güterverkehr	17
Entwicklung des Energieverbrauchs aller Verkehrsträger	18
Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energiebilanz	18
Vergleich Kraftstoffabsatz mit dem Inlandsverbrauch	19
Straßenverkehr	23
Berechnungsmethodik Straßenverkehr	23
Fahrzeugbestand nach Antriebsart, Größenklasse, Alter und Emissionsstandard	23
Daten und Methoden der Fahrleistungsberechnung	25
Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorien	26
Fahrleistungen nach Antriebsart, Größenklassen und Alter	27
Fahrleistungen nach Straßenkategorien	28
Fahrleistungen nach Verkehrssituationen	29
Spezifischer Energieverbrauch und Kohlendioxidemissionen	30

Emissionsfaktoren _____	31
Parameter für Kaltstart- und Verdunstungsemissionen _____	31
Vorzeitige Ausstattung von Fahrzeugen mit Partikelfiltern _____	31
Schieneverkehr _____	32
Abgrenzung Schieneverkehr _____	32
Berechnungsmethodik _____	32
Verkehrs- und Betriebsleistungen _____	32
Energieverbrauch _____	33
Emissionsfaktoren _____	34
Binnenschifffahrt _____	35
Abgrenzung und Berechnungsmethodik Binnenschifffahrt _____	35
Verkehrsleistungen _____	35
Energieverbrauch _____	35
Emissionsfaktoren _____	35
Flugverkehr _____	36
Abgrenzung des Flugverkehrs _____	36
Berechnungsmethodik _____	36
Verkehrs- und Betriebsleistungen _____	36
Energieverbrauch _____	37
Emissionsfaktoren _____	37
Ergebnisse: Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs 1960-2008 _____	38
Primärenergieverbrauch aller Verkehrsträger _____	38
Gesamtemissionen alle Verkehrsträger _____	39
Direkte Emissionen des Straßenverkehrs _____	40
Teil 3: Trendszenario bis 2030 _____	41
Definition des Trendszenarios _____	42
Sozio-ökonomische Annahmen _____	43
Entwicklung der Verkehrsleistungen _____	44
Annahmen zur Verkehrsleistungsentwicklung in der „Verkehrsprognose 2025“ _____	44
Annahmen zur Fahrleistungsentwicklung in der „Verkehrsprognose 2025“ _____	45
Annahmen zur Verkehrsleistungsentwicklung im TREMOD-Trendszenario bis 2030 _____	46
Fahrleistungen und Auslastung im Straßenverkehr _____	47
Betriebsleistung und Auslastung im Schieneverkehr _____	49
Entwicklung der Fahrzeugflotten im Straßenverkehr _____	50

Ableitung der Fahrzeugbestände im Straßenverkehr	50
Personenkraftwagen	51
Motorisierte Zweiräder	52
Leichte Nutzfahrzeuge	53
Schwere Nutzfahrzeuge	54
Busse	55
Schienenverkehr, Binnenschifffahrt und Flugverkehr	55
Entwicklung der Anteile der Energieträger	56
Konventionelle Kraftstoffe	56
Biokraftstoffe	56
Strom	57
Gesamte Energiekette (WTW-Betrachtung)	57
Entwicklung der Energieeffizienz	58
Pkw und leichte Nutzfahrzeuge	58
Busse und Lkw	59
Schienenverkehr	59
Binnenschifffahrt	59
Flugverkehr	59
Entwicklung der spezifischen Emissionen	60
Abgasgesetzgebung Straßenverkehr	60
Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei Pkw	60
Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei leichten Nutzfahrzeugen	61
Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei schweren Nutzfahrzeugen	61
Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei Bussen	62
Motorisierte Zweiräder	62
Schienenverkehr	62
Binnenschifffahrt	63
Flugverkehr	63
Ergebnisse: Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs 2000-2030	64
Primärenergieverbrauch alle Verkehrsträger	64
Gesamtemissionen alle Verkehrsträger	65
Direkte Emissionen des Straßenverkehrs	66
Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.04	67
Fahrleistungen	67
Verbrauch Ottokraftstoff	68

Verbrauch Dieselkraftstoff	69
Stickstoffoxidemissionen	70
Dieselpartikelemmissionen	71
<i>Literatur</i>	72
<i>Glossar</i>	75

Teil 1: Übersicht

Was ist TREMOD?

Entstehung von TREMOD

Emissionsberechnungsmodelle sind seit Anfang der 80er-Jahre die wesentliche Methode zur Ermittlung des heutigen und zukünftigen Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen des Verkehrs sowie der Abschätzung der Notwendigkeit und Wirkung von Minderungsmaßnahmen. Sie stellen somit eine wichtige wissenschaftliche Grundlage für die politische Entscheidungsfindung dar.

Die gestiegenen Anforderungen an Umweltinformationen machten eine stärker differenzierte, wissenschaftlich weiter fundierte und gesellschaftlich akzeptierte einheitliche Methoden- und Datenbasis erforderlich.

Ende der achtziger Jahre wurden deshalb mehr als 10 F+E-Vorhaben im Auftrag des Umwelt- und des Verkehrsressorts zur Erstellung von Daten zum Emissionsverhalten (z. B. [TÜV Rheinland 1994a,e], [RWTÜV 1993a,b,c]), zum Fahrverhalten und zur Fahrleistung (z. B. [Heusch-Boesefeldt 1994a,b],

[IVT 1993a, 1994a]) durchgeführt. Diese umfangreiche und komplexe Datenbasis erforderte geeignete Instrumentarien, um den Stand des Wissens auch für die Emissionsberechnung verfügbar zu machen.

Dazu wurde ein Berechnungsmodell für die verkehrsbedingten Emissionen aller Verkehrsträger benötigt. Deshalb veranlasste das Umweltbundesamt die Erstellung des „Transport Emission Model“ abgekürzt TREMOD. Dieses Modell ist eng verknüpft mit dem als PC-Datenbank realisiertem „Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr“ (HBEFA), welches die komplexe Datenbasis der Emissionsmessungen aufbereitet [INFRAS 1995a]).

Der vorliegende Bericht beschreibt den Inhalt der TREMOD-Version 5.1 vom 26.03.2010. Er wurde unterteilt in diesen Hauptbericht mit den wichtigsten Annahmen und Ergebnissen sowie einen Anhang mit detaillierten Informationen zu einzelnen Inhalten.

Anforderungen an TREMOD

Aufgabe von TREMOD ist es, die verfügbaren Methoden und Daten für die Schadstoffemissionsberechnung in Deutschland in ein fortschreibbares Modell einzubinden. Insbesondere wurden dafür

- die umfangreichen verfügbaren Daten aufbereitet, auf Konsistenz und Vollständigkeit geprüft und ergänzt sowie in geeigneten Datenstrukturen organisiert;
- die Berechnungsmethoden aktualisiert und entsprechend den Anforderungen differenziert, bzw. neue Methoden entwickelt,
- die Projektion vergangener Entwicklungen unter verschiedenen Randbedingungen (Szenarien) in die Zukunft methodisch abgesichert fortgeschrieben sowie
- die Datenbasis, die Methoden und die Intention des Vorhabens der Fachwelt präsentiert um ihre Akzeptanz zu fördern.

Damit ergab sich eine enge Zusammenarbeit bei der Erstellung des HBEFA und TREMOD. Beiden Werkzeugen liegt für den Modellteil Straßenverkehr der gleiche Kern in Form der Datenbasis und der auf diese zugreifenden Berechnungsmethoden zu Grunde. Das HBEFA wurde zunächst von den Ländern Deutschland und Schweiz getragen, gefolgt von Österreich und Niederlande. Mittlerweile sind zahlreiche europäische Länder hinzugekommen und die Datenbasis beruht auf europaweiten Messungen und Untersuchungen, z.B. auf dem ARTEMIS-Projekt [ARTEMIS]. Die in diesem Bericht beschriebene TREMOD –Version 5.1 beruht noch auf der Version HBEFA 2.1 [INFRAS 2004a], enthält aber schon wesentliche Erkenntnisse zur Entwicklung der Emissionsfaktoren für Euro 4 (IV), Euro 5 (V) und Euro 6 (VI) Fahrzeugen und andere aktuelle Informationen, wie sie im in Kürze fertig gestellten HBEFA 3.1 enthalten sein werden.

Inhalte von TREMOD

Räumliche und zeitliche Abgrenzung

Realdaten von 1960 bis 2008

In TREMOD werden alle in Deutschland betriebenen Personenverkehrsträger (Pkw, motorisierte Zweiräder, Busse, Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) und Güterverkehrsträger (Lkw und Zugmaschinen, Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) sowie der sonstige Kfz-Verkehr ab dem Basisjahr 1960 in Jahresschritten bis zum Jahr 2008 erfasst.

Bis zum Jahr 1993 werden die Eingangsdaten und Ergebnisse differenziert in West- und Ostdeutschland, ab 1994 wird Deutschland insgesamt betrachtet.

Trendszenario bis 2030

Das Trendszenario enthält eine Fortschreibung beginnend mit dem Jahr 2009 bis zum Jahr 2030 in der gleichen räumlichen Abgrenzung und der gleichen Differenzierung für alle Verkehrsträger wie bei den Realdaten.

Das Trendszenario beruht auf Annahmen zur verkehrlichen Entwicklung entsprechend der aktuellen „Verkehrsprognose 2025“ des BMVBS und berücksichtigt umweltseitig die absehbaren Trends aufgrund der beschlossenen Grenzwertgesetzgebung und anderer politischer Entscheidungen.

Betrachtete Umweltkomponenten

Betrachtet werden der Energieverbrauch sowie Luftschadstoff- und Klimagasemissionen. Konkret werden **Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe**, differenziert nach **Methan** und **Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen, Benzol, Xylol** und **Toluol, Kohlenmonoxid, Partikel, Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Distickstoffoxid** und **Ammoniak**, er-

fasst. Bilanziert werden die **direkten Emissionen am Fahrzeug** einschließlich der Verdunstungsemissionen und diejenigen Emissionen, die in der **energetischen Vorkette** entstehen (Förderung und Transport der Primärenergieträger, Umwandlung in Kraftwerken und Raffinerien, Transport bis zum Stromabnehmer bzw. zur Tankstelle).

Arten der Bilanzierung

Verkehr im Inland

Ausgangspunkt der Bilanzierung in TREMOD ist der Verkehr **innerhalb der Landesgrenzen** Deutschlands. Damit werden die Emissionen bilanziert, die durch die im Inland erbrachten Fahr- und Verkehrsleistungen entstehen.

Eine Ausnahme ist der **Flugverkehr**: Hier wird unterschieden in Inlandsverkehr zwischen den deutschen Verkehrsflughäfen und abgehenden Flugverkehr ins Ausland bis zur ersten Zwischenlandung.

Der Verkehr im Inland ist zu unterscheiden vom Verkehr der **Inländer**. Viele aktuelle Untersuchungen basieren auf dem Inländerverkehr, z.B. „Mobilität in Deutschland [MiD 2002], die Fahrleistungserhebung [IVT 2004a] oder die Güterkraftverkehrsstatistik [KBA_BAG]. In „Verkehr in Zahlen“ [ViZ] wird ebenfalls die Fahrleistung der Inländer veröffentlicht. Diese unterscheidet sich z. T. deutlich von der Inlandsfahrleistung, wie sie in TREMOD verwendet wird.

Energiebilanz

Für die sektorale Betrachtungsweise, die für die Berechnung des Emissionsinventars z.B. im National Inventory Report [UBA 2009a] verwendet wird, ist die Energiebilanz die relevante Bezugsgröße.

Da eine wesentliche Aufgabe von TREMOD die Bereitstellung der Emissionskennzahlen für den National Inventory Report ist, werden die Inlandsergebnisse von TREMOD so aufbereitet, dass sie mit der Energiebilanz übereinstimmen (s. Kap. „Entwicklung des Energieverbrauchs aller Verkehrsträger“).

Differenzen zwischen Inlandsverbrauch und Energiebilanz entstehen vor allem durch Betankungsdifferenzen („Tanktourismus“), zeitlichen Differenzen zwischen Betankung und Verbrauch und weitere Unsicherheiten auf Seiten der Modellierung (Fahrleistungen, spezifische Energieverbräuche) und der Energiebilanz (sektorale Aufteilung).

Eingangsdaten

Die Basisdaten reichen von Fahr- und Verkehrsleistungen sowie Auslastungsgraden über die technischen Eigenschaften der Bestände bis zu den spezifischen Energie- und Emissionsfaktoren.

Die folgende Beschreibung gibt einen groben Überblick über die Herkunft der Daten. Details sind den darauf folgenden Kapiteln zu entnehmen.

Verkehrsleistungen

Die Verkehrsleistungen des Personen- und Güterverkehrs stammen aus den offiziellen Publikationen des BMVBS [ViZ], den Fachserien des Statistischen Bundesamtes, ergänzt durch Verbands- und Unternehmensstatistiken (VDV, DB AG).

Fahrleistungen

Eine offizielle und kontinuierlich fortgeschriebene Quelle für die Inlandsfahrleistungen in Deutschland gibt es bisher nicht. Die in TREMOD verwendeten Inlandsfahrleistungen beruhen daher auf den Inländerfahrleistungen, die vom DIW abgeleitet werden und in „Verkehr in Zahlen“ [ViZ] veröffentlicht sind, auf den Straßenverkehrszählungen [DTV 2007a], [BASt 2009a] und Studien wie die Fahrleistungsuntersuchung [Heusch-Boesefeldt 1996a] oder die Fahrleistungserhebungen [IVT 1994a, 2004a].

Fahrzeugbestände

Die Fahrzeugbestände des Straßenverkehrs werden aus den KBA-Statistiken abgeleitet. Seit 2001 führt das KBA eine spezielle Auswertung der Bestände für das TREMOD-Modell durch. Trotz des hohen Differenzierungsgrades der KBA-Statistik sind nicht alle Informationen, die für die Emissionsberechnung benötigt werden, verfügbar, so dass teilweise Annahmen aufgrund von zusätzlichen Informationsquellen getroffen werden müssen (z.B. Aufteilung der Busbestände in Linien- und Reisebusse, Aufteilung der Motorräder in 2-Takt und 4-takt-Fahrzeuge, Anzahl der Pkw mit Partikelfilter, insbesondere Nachrüstungen u.v.a.).

Spezifischer Energieverbrauch und Emissionsfaktoren

Die Verbrauchs- und Emissionskennzahlen des **Straßenverkehrs** stammen aus dem HBEFA. Da die Version 3.1 bei Fertigstellung von TREMOD 5 noch nicht vorlag, werden die Werte des HBEFA 2.1 verwendet, wobei verschiedene Kennzahlen an neue

Erkenntnisse angepasst wurden. Außerdem wurde die Datenbasis um Euro-5 (V) und 6 (VI)-Emissionsfaktoren erweitert.

Für den **Schieneverkehr** basieren die Emissionsfaktoren der Dieseltraktion auf einem UBA-Vorhaben [WTZ 2002a] in Zusammenarbeit mit der DB AG [IFEU 2003c]. Die Werte für aktuellere Bezugsjahre werden von der DB AG aufgrund der aktuellen Betriebsleistungen der Fahrzeuge fortgeschrieben und in TREMOD übernommen. Für die übrigen Bahnen liegen keine Kennzahlen vor, so dass die DB-Werte übernommen werden.

Für die **Binnenschifffahrt** werden Emissionsfaktoren aus älteren Studien verwendet (siehe [Borken 1999]). Aktuellere Werte wurden bisher nicht eingearbeitet, da abgestimmte Kennzahlen wie beim Straßenverkehr nicht vorliegen.

Die Emissionsfaktoren des **Flugverkehrs** wurden vom Umweltbundesamt auf Basis verschiedener Studien abgeleitet [UBA 2004a].

Die Kennzahlen für den spezifischen Energieverbrauch werden beim Straßenverkehr aus den Emissionsmessungen abgeleitet und mit anderen Statistiken und Untersuchungen abgeglichen (z.B. CO₂-Monitoring des KBA, DIW in [ViZ] bzw. [DIW 2005a]).

Bei den übrigen Verkehrsträgern werden die spezifischen Verbrauchswerte hauptsächlich aus dem Gesamtverbrauch rückgerechnet und mit Einzelwerten zum Verbrauch plausibilisiert.

Trendszenario

Für das Trendszenario werden die Verkehrs- und Fahrleistungen aus der aktuellen „Verkehrsprognose 2025“ des BMVBS [BMVBS 2007a] zugrunde gelegt. Diese werden mit plausiblen Annahmen weiter in die TREMOD-Kategorien differenziert (z.B. Fahrzeug- und Straßenkategorien beim Straßenverkehr).

Die Fortschreibung der Fahrzeugbestände im Straßenverkehr wird mit einem Umschichtungsmodell durchgeführt, das den zukünftigen Bestand aus Neuzulassungen und Überlebenskurven berechnet. Hierzu sind Annahmen zur Anzahl und Struktur der Neuzulassungen notwendig, die zusammen mit dem Umweltbundesamt und dem BMU festgelegt wurden.

Weitere Annahmen betreffen v.a. die die zukünftige Fahrzeugeffizienz und das Emissionsverhalten, dass sich im Trendszenario an der beschlossenen Gesetzgebung orientiert.

Ergebnisse

Verkehrsdaten

TREMOT liefert als Ergebnis für den **Straßenverkehr** im Inland die Fahrzeugbestände, die Fahrleistungen, die Verkehrs- und Transportleistungen für alle Fahrzeugkategorien, weiter differenziert in die Antriebsarten, Größenklassen und Emissionsstandards.

Für den **Schieneverkehr** werden die inländischen Verkehrsleistungen (Pkm, tkm) und Betriebsleistungen (Platz-km, angebotene tkm), differenziert nach kommunalen Bahnen, DB, sonstigen öffentlichen Bahnen und Werksbahnen ausgegeben. Verkehrsarten sind Personennah-, -fern- und Güterverkehr.

Einziger Parameter für die Binnenschifffahrt sind die inländischen Transportleistungen.

Beim Flugverkehr werden die Verkehrs- und Transportleistungen des Inlandsverkehrs (zwischen inländischen Verkehrsflughäfen) und des abgehenden grenzüberschreitenden Verkehrs bis zur ersten Zwischenlandung unterschieden. Damit werden beim Flugverkehr als einzigem Verkehrsträger auch grenzüberschreitende Verkehre betrachtet.

Energieverbrauch und Emissionen

Ergebnisse für den Energieverbrauch und die Emissionen sind in der gleichen Differenzierung verfügbar wie die Verkehrsdaten. Es wird zusätzlich unterschieden in die direkten Emissionen am Fahrzeug, Verdunstungsemissionen (Straßenverkehr) und Gesamtemissionen inklusive der energetischen Vorketten.

Neben den Inlandsergebnissen (und beim Flugverkehr zusätzlich Verbrauch und Emissionen des abgehenden Verkehrs) werden die Emissionen auf die Energiebilanz, die den jährlichen Kraftstoffabsatz und Stromverbrauch in Deutschland dokumentiert, abgeglichen. Die Summe aller Einzelergebnisse für den Energieverbrauch eines Sektors ergibt den Gesamtverbrauch, wie ihn die Energiebilanz vorgibt. Die Emissionen werden durch einen Anpassungsfaktor auf die Energiebilanz korrigiert, der sich prinzipiell aus der Differenz zwischen Inlandsverbrauch und Absatz nach Energiebilanz ergibt (siehe Details in Kapitel „Entwicklung des Energieverbrauchs aller Verkehrsträger“).

Konventionen und wichtige Kennzahlen

Energetische Kennzahlen und Umrechnungsfaktoren

In TREMOD liegen die spezifischen Verbrauchswerte für Kraftstoffe in der Regel in massenbezogenen Einheiten vor (Gramm, kg). Da sich Kraftstoffe in ihrem Energieinhalt und ihrer Dichte voneinander unterscheiden, ist die massenbezogene Angabe des Energieverbrauchs vor allem dann problematisch, wenn Mischkraftstoffe betrachtet werden (z.B. mit beigemischten Biokraftstoffen) oder verschiedene Kraftstoffe aufsummiert werden. In diesem Fall ist der Bezug auf den Energieinhalt die verlässlichere Größe.

In TREMOD erfolgt die Bilanzierung der Ergebnisse, die Angabe von Beimischungsanteilen und die Berechnung der CO₂-Emissionen und Energieverketten grundsätzlich auf Basis des Energieinhaltes in Joule (meist MJ). Die Darstellung in kg oder Liter dient v.a. der besseren Verständlichkeit. In diesem Fall sollte man jedoch vermeiden, verschiedene Kraftstoffe aufzusummieren. Die wichtigsten verwendeten Energiekennzahlen sind in der folgenden Tabelle dargestellt-

	Benzin	Diesel*	Kerosin**	Ethanol	Biodiesel	Pflanzenöl
Heizwert (MJ/kg)	43,543	42,960	42,800	26,917	37,242	37,242
Dichte (kg/l)	0,742	0,832	0,8	0,7824	0,879	0,92
Anmerkung: Heizwert Diesel bis 1992: 42,704 MJ/kg, Kerosin bis 2003: 43 MJ/kg						
Quellen: AG Energiebilanzen, BAFA						

Tab. 1: Energiekennzahlen für Kraftstoffe 1994-2008

Kohlendioxidemissionen

Die Kohlendioxidemissionen werden unter Annahme der vollständigen Oxidation des Kohlenstoffs im Kraftstoff berechnet. Für die direkten CO₂-Emissionen werden kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes, bezogen auf den Energieinhalt der Kraftstoffe, verwendet.

Die direkten CO₂-Emissionen der Biokraftstoffe werden ebenfalls mit ihrem Kohlenstoffgehalt be-

rechnet. Eine Unterscheidung zwischen regenerativen und fossilen CO₂-Emissionen wird derzeit nicht vorgenommen.

Die verwendeten CO₂-Umrechnungsfaktoren gehen aus der folgenden Tabelle hervor.

	Benzin	Diesel*	Kerosin**	Ethanol	Biodiesel	Pflanzenöl
CO ₂ (kg/TJ)	72.000	74.000	73.600	72.000	70.800	70.800
CO ₂ (kg/kg)	3.135	3.179	3.150	1.938	2.637	2.637
CO ₂ (kg/l)	2.326	2.645	2.520	1.516	2.318	2.426
Anmerkung: CO ₂ -Werte Ethanol wie Benzin, Pflanzenöl wie Biodiesel						
Quelle: Umweltbundesamt						

Tab. 2: CO₂-Emissionsfaktoren für Kraftstoffe

Schwefeldioxid und Blei

Die direkten Schwefeldioxid- und Bleiauspuffemissionen sind direkt vom Schwefel- bzw. Bleigehalt im Kraftstoff abhängig. Das Umweltbundesamt hat die entsprechenden Anteilswerte in den Kraftstoffen analysiert.

Die folgende Tabelle enthält den für Otto- und Dieselmotorkraftstoff ermittelten Schwefelgehalt.

Ottokraftstoff		Dieselmotorkraftstoff	
DDR			
bis 1990	500 ppm	bis 1990	6000 ppm
(West-)Deutschland			
bis 1989	250 ppm	Bis 1984	2700 ppm
		1985	2500 ppm
		1986-1987	2100 ppm
		1988-1990	1700 ppm
1990-1994	220 ppm	1991-1995	1300 ppm
		1996	600 ppm
1995-1997	180 ppm	1997	400 ppm
Bis 2000	70 ppm	Bis 2000	300 ppm
2001	55 ppm	2001	250 ppm
2002	25 ppm	2002	40 ppm
Ab 2003	8 ppm	Ab 2003	8 ppm
Quelle: Umweltbundesamt IFEU Heidelberg 2002			

Tab. 3: Schwefelgehalt von Kraftstoffen

Bleiemissionen fielen bis zum Jahr 1996 an. Danach wurde nur noch bleifreier Kraftstoff verkauft. Die folgende Tabelle enthält die Annahmen zum Bleigehalt im Otto-Kraftstoff. Bei der Emissionsberechnung wird zusätzlich angenommen, dass 75% des Bleis aus dem Kraftstoff mit dem Abgas emittiert werden.

Jahr	Bleigehalt (mg/l)	
	Westdeutschland	Ostdeutschland
bis 1984	126	234
1985	125	234
1986	113	234
1987	95	234
1988	72	234
1989	54	126
1990	42	126
1991	29	
1992	20	
1993	16	
1994	11	
1995	8	
1996	4	
Ab 1997	0	
Quelle: Umweltbundesamt		

Tab. 4: Bleigehalt von Kraftstoffen

Energetische Vorketten

In TREMOD werden neben den direkten Emissionen die Gesamtemissionen dargestellt, das sind die direkten Emissionen einschließlich derjenigen der Kraftstoffherstellung bzw. Stromerzeugung inklusive Förderung, Aufbereitung und Transport der Primärenergieträger. Die Kennzahlen stammen im Wesentlichen aus Analysen des IFEU-Instituts. Ausnahme ist der Bahnstrommix, der vom Bahn-Umwelt-Zentrum abgeleitet wurde.

Die Emissionswerte der Vorketten bei Biokraftstoffen unterscheiden sich deutlich voneinander. Neben Kohlendioxid entstehen bei der Herstellung von Biokraftstoffen z.T. relevante Mengen der Klimagase N₂O und Methan. Allerdings war es nicht möglich, für TREMOD repräsentative Kennzahlen mit einem „Realmix“ an Biokraftstoffen für jedes Jahr zu

bestimmen. Daher wird die Vorkette von Biokraftstoffen folgendermaßen modelliert:

- Für CO₂ wird der Emissionsfaktor der Vorkette so festgelegt, dass die Differenz der CO₂-Gesamtemissionen (direkt + Vorkette) für Biokraftstoffe um 50% niedriger ist bei konventionellen Kraftstoffen. Dieser Wert entspricht nach einer Untersuchung des Umweltbundesamtes in etwa der derzeitigen Einsparung von Klimagasen durch Biokraftstoffe gegenüber den konventionellen Kraftstoffen [UBA 2009b]. Damit wird die Einsparung von Klimagasen als „negativer“ Emissionsfaktor für die Vorkette angesetzt. Der negative Emissionsfaktor kommt zustande, weil die Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre

beim Wachstum der Biokraftstoffe höher ist als - durch die Produktion entsteht.

- Für die übrigen Komponenten werden die Emissionsfaktoren der konventionellen Kraftstoffe übernommen (Ethanol wie Ottokraftstoff, Pflanzenöl und Biodiesel wie Diesel).

Ableitung der CO ₂ -Gesamtemissionen für Kraftstoffe			
Kg/TJ	Direkt	Vorkette	Gesamt
Differenz Biokraftstoff –konv. Kraftstoff (Vorgabe)			-50%
Diesel konv	74.000	9.942	83.942
Biodiesel/Pflanzenöl	70.200	-28.829	41.971
Otto konv-	72.000	14.093	86.093
Ethanol	72.000	-28.954	43.046

Tab. 5: CO₂-Emissionsfaktoren von konventionellen Kraftstoffen und Biokraftstoffen in TREMOD

Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug der verwendeten Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren für die energetische Vorkette. Die Werte gelten für das Bezugsjahr 2008.

Emissionsfaktoren energetische Vorkette 2008			
Energieart	Komponente	Wert	Einheit
Otto	NOx	33,2	kg/TJ
	Energie	0,20	TJ/TJ
	CO ₂	14.093	Kg/TJ
Diesel	NOx	28,6	kg/TJ
	Energie	0,14	TJ/TJ
	CO ₂	9.942	Kg/TJ
Kerosin	NOx	28,7	kg/TJ
	Energie	0,14	TJ/TJ
	CO ₂	9.983	Kg/TJ
Ethanol	NOx	33,2	kg/TJ
	Energie	0,20	TJ/TJ
	CO ₂	-28.954	Kg/TJ
Biodiesel	NOx	28,6	kg/TJ
	Energie	0,14	TJ/TJ
	CO ₂	-28.829	Kg/TJ
Bahnstrom	NOx	158,1	kg/TJ
	Energie	2,1	TJ/TJ
	CO ₂	170.900	Kg/TJ

Tab. 6: Ausgewählte Emissionsfaktoren der Vorkette von Kraftstoffen in TREMOD

Teil 2:
Entwicklung 1960-2008

Entwicklung der Verkehrsleistungen aller Verkehrsträger

Verkehrsleistungen im Personenverkehr

Die Personenverkehrsleistungen in Deutschland haben sich zwischen 1960 und 2008 nahezu vervierfacht. Die stärksten Zuwachsraten hatte der Flugverkehr. Der motorisierte Individualverkehr hat sich fast

verfünffacht, während der Schienenverkehr nahezu konstant geblieben ist. Dementsprechend sank der Anteil des Schienenverkehrs am Modal Split von 26% auf unter 8%.

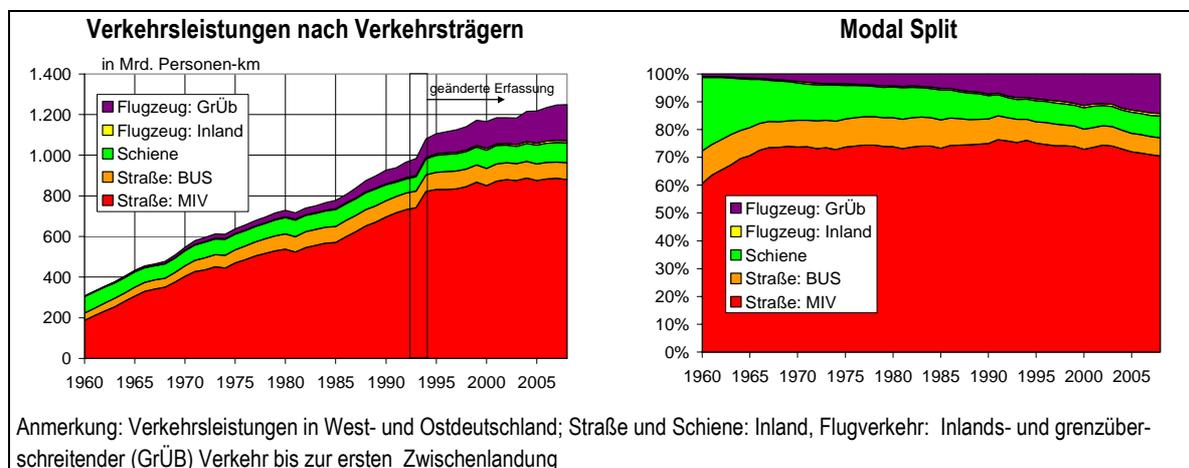


Abb. 1: Personenverkehrsleistung in Deutschland 1960-2008 nach Verkehrsträgern

Im **Straßenverkehr** dominiert der Pkw, gefolgt von Bussen und motorisierten Zweirädern. Der Anteil der Verkehrsleistung der Pkw an der gesamten Verkehrsleistung des Straßenverkehrs hat sich von 1960 bis 2008 von 67% auf 90% erhöht.

Die starke Zunahme des Pkw Verkehrs bei abnehmender Fahrzeugbesetzung führte in diesem Zeitraum zur gegenüber 1960 sechsmal höheren Fahrleistung im Jahr 2008. Der Anteil der Pkw-Fahrleistung an der gesamten Fahrleistung von MIV und Bus lag 2008 bei 97%.

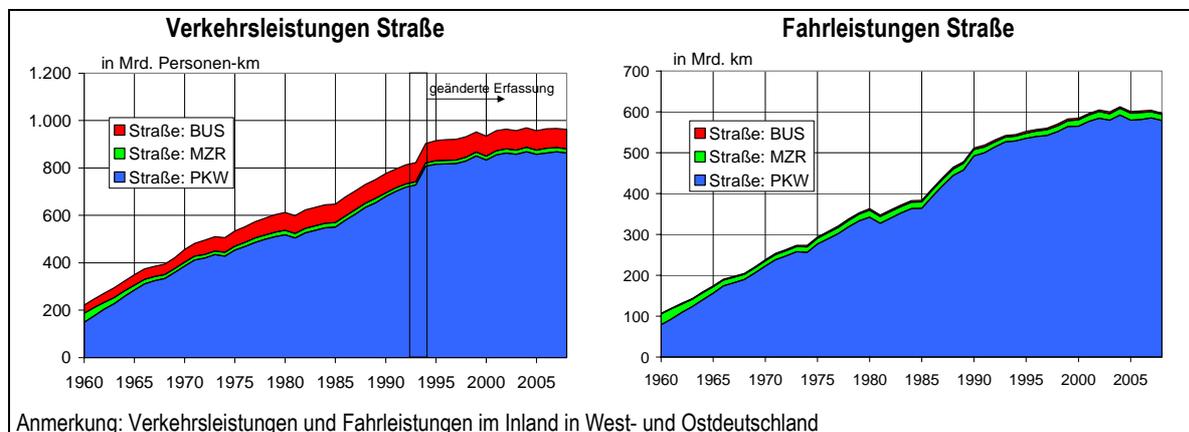


Abb. 2: Personenverkehrsleistung und Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Deutschland 1960-2008

Transportleistungen im Güterverkehr

Die Transportleistungen in Deutschland hat sich zwischen 1960 und 2008 mehr als verdreifacht. Die stärksten Zuwachsraten hatte der Straßenverkehr (Faktor 7), während der Schienenverkehr durch die Zuwächse in den letzten Jahren im Jahr 2008 wieder etwa das Niveau von 1960 erreicht hat. Dementsprechend sank der Anteil des Schienenverkehrs am Modal Split von 51% auf 18%. Die Binnenschifffahrt

hatte nur geringe Zuwachsraten, dadurch sank ihr Anteil am Modal Split auf unter 10%.

Bei allen Angaben ist zu berücksichtigen, dass die Aussagen bezüglich der Entwicklung nur die Tendenzen beschreiben, da die statistischen Daten aufgrund von mehreren Erfassungsänderungen nur bedingt zwischen den Jahren vergleichbar sind.

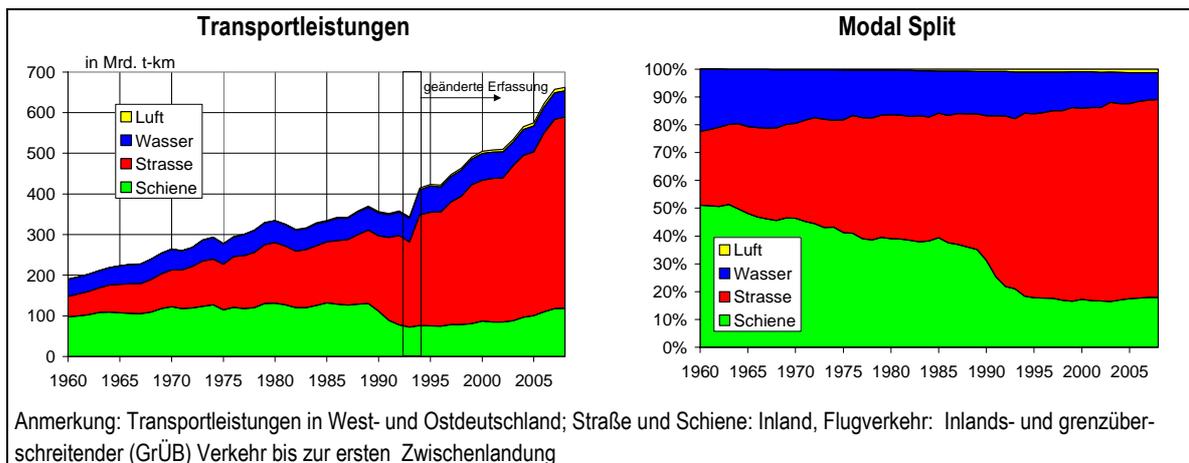


Abb. 3: Transportleistungen aller Verkehrsträger in Deutschland 1960-2008

Im **Straßenverkehr** wird die statistisch erfasste Transportleistung von schweren Nutzfahrzeugen erbracht, überwiegend von den großen Last- und Sattelzügen. Der Anteil der Lkw ohne Anhänger an der Transportleistung ist gering. Die Transportleistung der leichten Nutzfahrzeuge wird statistisch nicht erfasst. Sie haben aber einen relativ hohen Fahrleistungsanteil.

Anders als im Personenverkehr lässt sich im Straßengüterverkehr eine Verbesserung der Transporteffizienz zwischen 1960 und 2008 ablesen: Während die Transportleistung auf das neunfache anstieg, wuchs die Fahrleistung der schweren Nutzfahrzeuge nur auf das 4,5fache und der Güterverkehr inklusive der leichten Nutzfahrzeuge auf das fünffache.

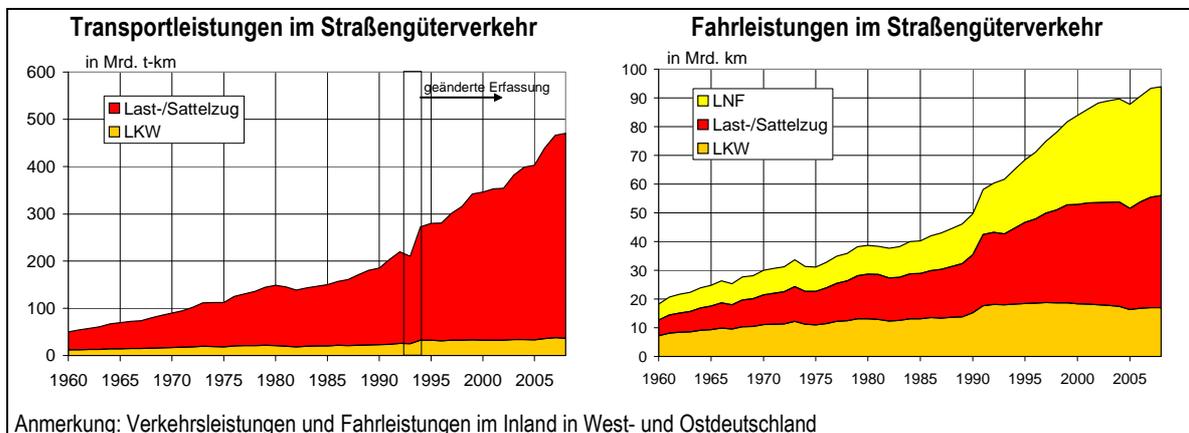


Abb. 4: Transportleistungen und Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Deutschland 1960-2008

Entwicklung des Energieverbrauchs aller Verkehrsträger

Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energiebilanz

Eine wichtige Basis zur Bestimmung der verkehrsbedingten Emissionen ist der Energieverbrauch in Deutschland. Dieser wird von der AG Energiebilanzen statistisch erfasst und den verschiedenen Sektoren zugeordnet. Die Energiebilanz ist die Basis der Emissionsberichterstattung [UBA 2009a] und daher auch für die Berechnung der Emissionen in TREMOD relevant. Basis der Energiebilanz für die Kraftstoffe sind die Mengen, die in einem Jahr in Deutschland abgesetzt wurden.

Die Energiebilanz ist daher die wichtigste statistisch verfügbare Randgröße zur Überprüfung der mit TREMOD berechneten Ergebnisse, da alle anderen verwendeten Größen wie Fahrleistungen und spezifische Verbräuche mit mehr oder weniger großen

Unsicherheiten behaftet sind (zur Unsicherheit der Energiebilanz siehe nachfolgendes Kapitel).

Der Energieverbrauch des Verkehrs hat sich von 1960 bis 2008 nahezu verdreifacht, wobei der Verbrauch seit 2000 nahezu gleich geblieben ist. Außer beim Flugverkehr ist der Energieverbrauch bei allen Verkehrsträgern seit einigen Jahren rückläufig.

Den höchsten Anteil am verkehrsbedingten Energieverbrauch hat der Straßenverkehr. Bei insgesamt leicht rückläufigem Verbrauch verschiebt sich der Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr zunehmend von Ottokraftstoff zu Dieselmotorkraftstoff, bei zunehmendem Anteil von Biokraftstoffen.

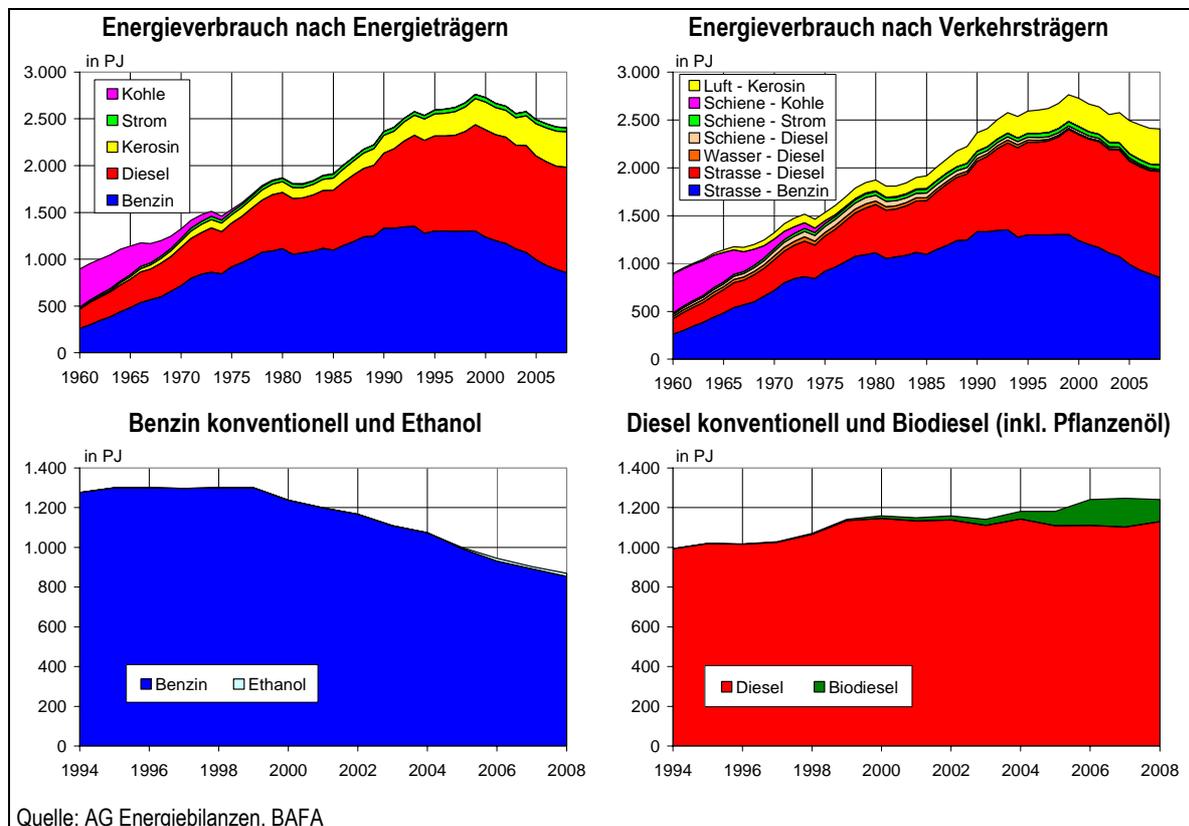


Abb. 5: Energieverbrauch (Absatz) des Verkehrs in Deutschland 1960-2008 nach Energiebilanz

Vergleich Kraftstoffabsatz mit dem Inlandsverbrauch

Anders als im stationären Bereich ist im Verkehr der Ort des Verbrauchs nicht identisch mit dem Ort der Energieaufnahme. Außerdem treten zeitliche Differenzen auf, z.B. wenn zum Jahresende aufgrund

angekündigter Preissteigerungen die Fahrzeugtanks gefüllt werden. Daher kommt es zu Differenzen zwischen den Absatzzahlen nach Energiebilanz und der im Inland verbrauchten Energie.

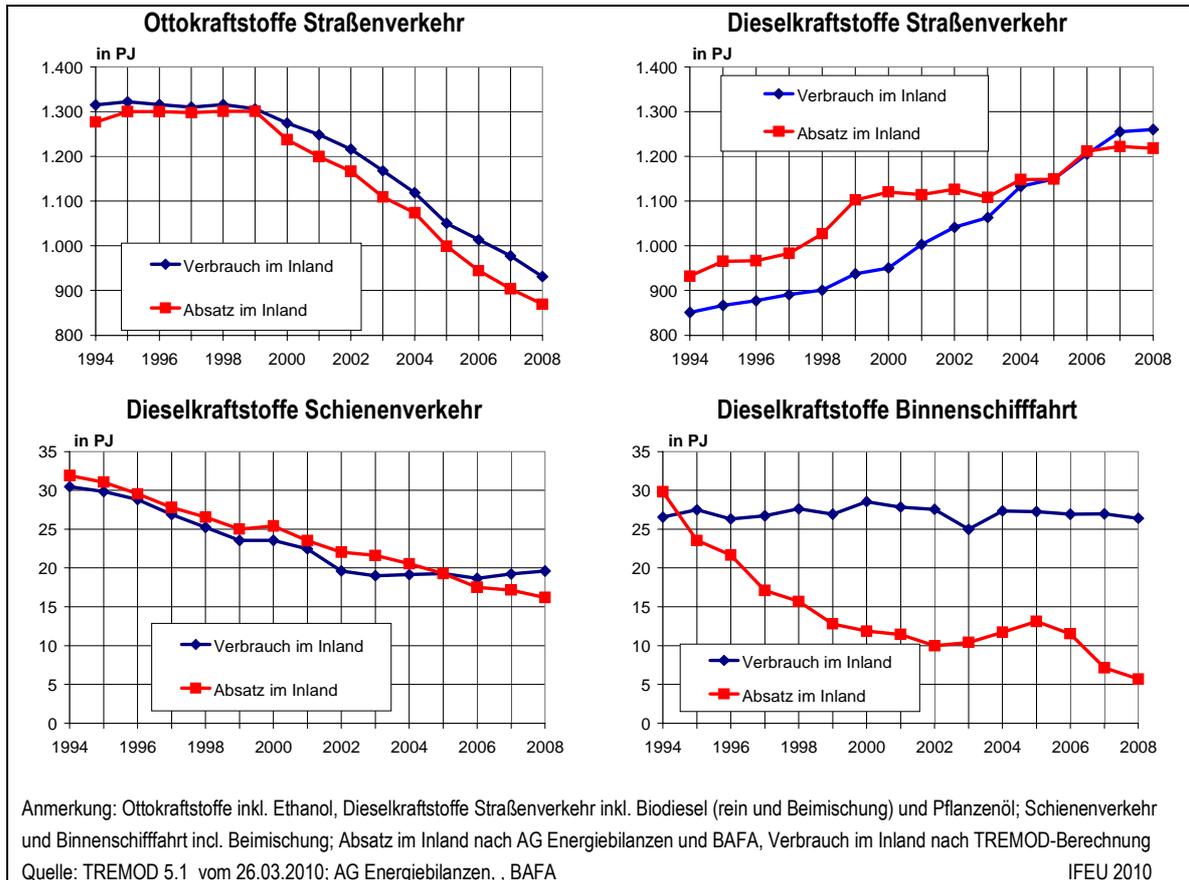


Abb. 6: Vergleich Inlandsverbrauch und Kraftstoffabsatz 1994-2008

Da für die Emissionsberichterstattung das Energie- und Treibhausgasinventar nach den Absatzzahlen der Energiebilanz bestimmt wird, müssen die Inlandsergebnisse von TREMOD an die Absatzzahlen der Energiebilanz angepasst werden. Dazu werden Anpassungsfaktoren wie folgt ermittelt. :

- Ottokraftstoff wird überwiegend von Pkw verbraucht (97%), gefolgt von MZR, Leichten Nutzfahrzeugen und übrigen Kfz. Der Anpassungsfaktor für Ottokraftstoff wird daher als Quotient aus dem Absatz von Ottokraftstoff im Straßenverkehr und dem mit TREMOD berechneten Inlandsverbrauch der genannten Fahrzeugkategorien berechnet.

- Für Diesel-Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und übrige Fahrzeuge <3,5t wird der Anpassungsfaktor von Ottokraftstoff übernommen, da angenommen wird, dass bei diesen Fahrzeugkategorien die Differenzen zwischen Absatz und Verbrauch ähnliche Ursachen und daher eine ähnliche Größenordnung haben könnten, unabhängig von der Antriebsenergie.
- Der Anpassungsfaktor für die übrigen dieselbetriebenen Fahrzeugkategorien (Schwere Nutzfahrzeuge und Busse) berechnet sich aus den verbleibenden Differenzen zum gesamten Inlandsverbrauch bzw. zum gesamten Inlandsabsatz des Straßenverkehrs nach Energiebilanz.

- Die Beimischung von Biokraftstoffen wird in allen Sektoren gleich angenommen. Der Verbrauch an reinen Biokraftstoffen wird mangels genauer Informationen dem Straßenverkehr zugeordnet.

Mit diesen Annahmen ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Anpassungsfaktoren, mit denen der mit TREMOD berechnete Verbrauch und die zugehörigen Emissionen im Inland in die kraftstoffabsatz-bezogenen Ergebnisse nach Energiebilanz umgerechnet.

	Straße		Bahn	Binnenschiff
	Kfz<=3,5t	Kfz>3,5t	Diesel	Diesel
	Otto+Diesel	Diesel		
1994	0,97	1,18	1,05	1,12
1995	0,98	1,20	1,04	0,86
1996	0,99	1,18	1,03	0,82
1997	0,99	1,18	1,03	0,64
1998	0,99	1,24	1,05	0,57
1999	1,00	1,30	1,06	0,48
2000	0,97	1,33	1,08	0,42
2001	0,96	1,23	1,05	0,41
2002	0,96	1,19	1,12	0,36
2003	0,95	1,13	1,14	0,42
2004	0,96	1,07	1,07	0,43
2005	0,95	1,05	1,00	0,49
2006	0,93	1,08	0,94	0,44
2007	0,92	1,03	0,89	0,28
2008	0,93	1,00	0,83	0,23

Quelle: TREMOD 5.04 vom 31.08.2009 IFEU 2009

Tab. 7: Anpassungsfaktoren Kraftstoffabsatz Energiebilanz / Inlandsverbrauch TREMOD 1994-2008

Der Unterschied zwischen Inlandsverbrauch und Kraftstoffabsatz im Zeitverlauf ist z.T. starken Schwankungen unterworfen. Diese lassen sich bisher nur teilweise erklären. Ein wesentliches Problem ist hierbei, dass es bisher keine Dokumentation zur Energiebilanz gibt, die das Verfahren der Ermittlung der Absatzzahlen und Aufteilung auf die Sektoren erklärt. Auf der anderen Seite ist der mit TREMOD berechnete Inlandsverbrauch auch mit Unsicherheiten verbunden, da die zugrunde liegenden Kennzahlen (Fahrleistungen, Flottenzusammensetzung, spezifischer Energieverbrauch) keine exakten Größen sind sondern ihrerseits zum Teil auf vereinfachten Hochrechnungen und Modellierungen beruhen.

Folgende Zusammenhänge können beobachtet werden:

- Beim Otto-Kraftstoff besteht die beste Korrelation zwischen Inlandsverbrauch und Absatz. Ab dem Jahr 2000 wächst der Inlandsabsatz konti-

nuierlich an. Grund dafür könnte die zunehmende Preisdifferenz zwischen Deutschland und den Nachbarländern sein (siehe z.B. [DIW 2005a]).

- Beim Dieselmotorkraftstoff liegt der Absatz immer über dem Inlandsverbrauch. Eine Ursache könnte sein, dass im Bereich Straßenverkehr Dieselmotorkraftstoff als Absatz erfasst ist, der außerhalb des Straßenverkehrs verbraucht wird. Dies legt eine Untersuchung des IFEU für das Umweltbundesamt nahe [IFEU 2009a]. Danach könnten z.B. im Jahr 2008 etwa 50 PJ (ca. 4% des gesamten Dieselmotorkraftstoffabsatzes) fälschlicherweise dem Straßenverkehr zugeordnet sein.
- Trotz der möglichen Überschätzung der Energiebilanz wächst der Dieselmotorkraftstoffabsatz seit dem Jahr 2000 deutlich langsamer als der Inlandsverbrauch. Seit 2007 liegt der Inlandsverbrauch über dem Absatz. Hierbei dominiert vermutlich der Preiseffekt, der zu einer zunehmenden Betankung im Ausland geführt hat.
- Der Inlandsverbrauch der Bahnen ist seit 2006 höher als in der Energiebilanz ausgewiesen wird. Besonders seit 2004 geht der MWV [MWV 2009a] von einem weiter sinkenden Dieselmotorkraftstoffverbrauch im Schienenverkehr aus, während TREMOD aufgrund der Zunahme der Verkehrsleistungen der nicht-bundeseigenen Bahnen von einem ähnlichen Niveau im Jahresverbrauch seit 2002 ausgeht.
- Bei der Binnenschifffahrt kommt es seit 1994 zu einer zunehmenden Differenz zwischen dem mit TREMOD berechneten Inlandsverbrauch und der Energiebilanz. Gründe hierfür könnten die zunehmende Betankung im Ausland und statistische Umstellungen sein. Es ist auch nicht auszuschließen, dass der spezifische Energieverbrauch der Binnenschifffahrt stärker zurückgegangen ist als in TREMOD angenommen wird.

In den folgenden Tabellen sind der Kraftstoffabsatz und der Energieverbrauch im Inland für die Jahre 2000-2008 zusammenfassend und im Vergleich dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass der Inlandsverbrauch aller Kraftstoffe seit 2001 höher ist als der Kraftstoffabsatz und diese Differenz im Zeitverlauf zugenommen hat. Eine wichtige Konsequenz ist, dass die Emissionsentwicklung des Verkehrs im nationalen Inventarbericht seit 2000 günstiger ausfällt als nach der Inlandsbilanzbilanzierung in TREMOD.

Straßenverkehr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotoren	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	1.108	1.097	1.106	1.078	1.111	1.077	1.081	1.079	1.108
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	10	24	31	48	55
Biodiesel (FAME)	12	17	20	30	27	41	72	68	40
Pflanzenöl	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	7	27	27	15
Biokraftstoffe gesamt	12	17	20	30	37	72	130	143	110
Diesel Gesamt	1.120	1.114	1.126	1.108	1.148	1.149	1.211	1.222	1.218
Anteil Biokraftstoffe	1,1%	1,5%	1,8%	2,7%	3,2%	6,2%	10,7%	11,7%	9,0%
Ottomotoren	-----in PJ-----								
Otto konventionell	1.237	1.199	1.166	1.109	1.073	992	931	892	853
Ethanol	0	0	0	0	1	7	14	12	17
Otto Gesamt	1.237	1.199	1.166	1.109	1.074	999	944	904	869
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,4%	1,3%	1,9%
Schienerverkehr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotoren	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	25	24	22	22	20	19	17	16	15
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8
Diesel gesamt	25	24	22	22	21	19	18	17	16
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	2,1%	2,8%	4,3%	4,7%
Binnenschifffahrt	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotoren	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	12	11	10	10	12	13	11	7	5
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3
Diesel gesamt	12	11	10	10	12	13	12	7	6
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	2,1%	2,8%	4,3%	4,7%
Sonst. Verbraucher	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotoren	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	96	93	92	90	87	86	86	85	86
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,9	2,5	3,8	4,3
Diesel gesamt	96	93	92	90	88	88	88	89	91
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	2,1%	2,8%	4,3%	4,7%
Ottomotoren	-----in PJ-----								
Otto konventionell	17	18	18	17	16	17	16	16	16
Ethanol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3
Otto Gesamt	17	18	18	17	16	17	16	16	16
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,4%	1,3%	1,9%
Gesamt	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotoren	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	1.242	1.226	1.230	1.200	1.230	1.195	1.195	1.187	1.215
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	11	26	35	53	60
Biodiesel (FAME)	12	17	20	30	27	41	72	68	40
Pflanzenöl	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	7,4	27	27	15
Biokraftstoffe gesamt	12	17	20	30	38	74	133	148	115
Diesel Gesamt	1.254	1.243	1.250	1.230	1.268	1.269	1.328	1.335	1.330
Anteil Biokraftstoffe	1,0%	1,3%	1,6%	2,4%	3,0%	5,9%	10,0%	11,1%	8,6%
Ottomotoren	-----in PJ-----								
Otto konventionell	1.254	1.217	1.184	1.126	1.088	1.009	946	907	868
Ethanol	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	7,0	14	12	17
Otto Gesamt	1.254	1.217	1.184	1.126	1.089	1.016	960	920	885
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,4%	1,3%	1,9%
Flugverkehr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Kerosin (in PJ)	297	290	287	292	316	344	361	374	378
Flugbenzin (in PJ)	26	23	19	18	15	16	15	14	15

Quellen: AG Energiebilanzen, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

Tab. 8: Kraftstoffabsatz in Deutschland nach Energiebilanz 2000-2008

Straßenverkehr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	940	988	1.022	1.034	1.096	1.078	1.076	1.108	1.147
Biokraftstoffe gesamt	10	15	19	29	37	72	129	147	114
Diesel Gesamt	950	1.003	1.041	1.063	1.133	1.149	1.205	1.255	1.261
Anteil Biokraftstoffe	1,1%	1,5%	1,8%	2,7%	3,2%	6,2%	10,7%	11,7%	9,0%
Ottomotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Otto konventionell	1.274	1.248	1.216	1.168	1.118	1.043	999	964	914
Ethanol	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	7,2	15	13	18
Otto Gesamt	1.274	1.248	1.216	1.168	1.119	1.051	1.014	977	931
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,4%	1,3%	1,9%
Schienerverkehr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	24	22	20	19	19	19	18	18	19
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,5	0,8	0,9
Diesel gesamt	24	22	20	19	19	19	19	19	20
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	2,1%	2,8%	4,3%	4,7%
Binnenschifffahrt	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	29	28	28	25	27	27	26	26	25
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,8	1,2	1,2
Diesel gesamt	29	28	28	25	27	27	27	27	26
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	2,1%	2,8%	4,3%	4,7%
Sonst. Verbraucher	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	153	151	148	146	144	141	143	140	139
Biodiesel Beimischung	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	3,1	4,2	6,3	6,9
Diesel gesamt	153	151	148	146	145	144	147	147	146
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	2,1%	2,8%	4,3%	4,7%
Ottomotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Otto konventionell	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ethanol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Otto Gesamt	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,4%	1,3%	1,9%
Gesamt	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dieselmotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Diesel konventionell	1.145	1.189	1.218	1.225	1.286	1.264	1.263	1.292	1.330
Biokraftstoffe gesamt	10	15	19	29	38	76	135	156	123
Diesel Gesamt	1.156	1.204	1.237	1.254	1.325	1.340	1.397	1.448	1.453
Anteil Biokraftstoffe	0,9%	1,3%	1,5%	2,3%	2,9%	5,7%	9,6%	10,7%	8,4%
Ottomotorkraftstoffe	-----in PJ-----								
Otto konventionell	1.285	1.258	1.226	1.178	1.127	1.053	1.009	974	923
Ethanol	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	7,3	15	13	18
Otto Gesamt	1.285	1.258	1.226	1.178	1.129	1.060	1.024	987	941
Anteil Biokraftstoffe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	1,4%	1,3%	1,9%
Absatz gesamt (Energiebilanz)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Diesel Gesamt (in PJ)	1.254	1.243	1.250	1.230	1.268	1.269	1.328	1.335	1.330
Otto Gesamt (in PJ)	1.254	1.217	1.184	1.126	1.089	1.016	960	920	885
Differenz									
Absatz-Verbrauch	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Diesel Gesamt (in PJ)	98	38	13	-23	-57	-71	-69	-113	-123
Otto Gesamt (in PJ)	-30	-41	-42	-52	-39	-44	-63	-68	-56

Quellen: TREMOD 5.04 vom 31.08.2009, AG Energiebilanzen, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

Tab. 9: Inlandsverbrauch in Deutschland nach TREMOD und Vergleich mit Absatz 2000-2008

Straßenverkehr

Berechnungsmethodik Straßenverkehr

Aufgrund seiner Bedeutung für die verkehrsbedingten Emissionen wird der Straßenverkehr sehr differenziert betrachtet. Ausgangsgröße ist die jährliche Gesamtfahrleistung nach Fahrzeugkategorien, die weiter unterteilt wird nach Straßenkategorien (Innerorts, Außerorts, Autobahn), nach Straßentypen (Bundes-, Landes-, Kreis-, Gemeindestraßen) und nach Verkehrssituationen.

Die Fahrzeugflotte wird aufgrund des inländischen Fahrzeugbestands charakterisiert. Dazu wird der Fahrzeugbestand differenziert in Fahrzeugkategorien, Fahrzeugschichten (Antriebsarten, Größenklassen, Emissionsstandard) und das Fahrzeugalter. Bezug für TREMOD ist der Bestand zur Jahresmitte.

Bei der Ermittlung der Fahrleistungen der Fahrzeugflotte werden die unterschiedlichen spezifischen Fahrleistungen der verschiedenen Fahrzeugschichten und Altersjahrgänge berücksichtigt werden. Dabei werden folgende Relationen innerhalb jeder Fahrzeugkategorie berücksichtigt:

- Abnehmende Jahresfahrleistung mit dem Fahrzeugalter
- Zunehmende Jahresfahrleistung mit der Fahrzeuggröße
- Bei Pkw: Höhere Fahrleistungen der größeren und neueren Fahrzeuge auf Autobahnen.
Zur Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen werden die Emissionsfaktoren des HBEFA verwendet. Folgende Emissionskategorien werden berücksichtigt:
 - Emissionen des Fahrbetriebs mit warmem Motor.
 - Zusätzliche Emissionen nach dem Start mit nicht warmem Motor (Kaltstart)
 - Verdunstungsemissionen beim Abstellen des Fahrzeugs
 - Verdunstungsemissionen durch Tankatmung.

Fahrzeugbestand nach Antriebsart, Größenklasse, Alter und Emissionsstandard

Der Fahrzeugbestand ist die wichtigste Bezugsgröße zur Ableitung der Fahrleistungsanteile der emissionsrelevanten Fahrzeugschichten. Grundlage ist der in Deutschland registrierte Bestand.

Fahrleistungen in Deutschland werden auch von ausländischen Fahrzeugen erbracht. Umgekehrt fahren die im Inland zugelassenen Fahrzeuge auch im Ausland. Dem inländischen Bestand kann daher im Prinzip nur die Fahrleistung der Inländer zugeordnet werden. In TREMOD wird jedoch der Inlandsbestand als Merkmal für die Aufteilung der Inlandsfahrleistung verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass der Fehler durch diese Zuordnung gering ist, da die ausländischen Fahrzeugflotten nur einen geringen Anteil an der Fahrleistung haben (Pkw ca. 3,4%, SNF ca. 16%, nach [IVT 2004a]) und nicht sehr verschieden von der deutschen Fahrzeugflotte sind. Die Ähnlichkeit der Flotten lässt sich z.B. für den Güterverkehr anhand der Mautstatistik [BAG 2008] nachweisen.

Der Fahrzeugbestand ist bei den Pkw und leichten Nutzfahrzeugen in der Vergangenheit angestiegen. Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist der Be-

stand rückläufig. Dabei gab es deutliche Änderungen in der Fahrzeugstruktur.

Bei den **Pkw** nahm der Anteil der Dieselfahrzeuge zwischen 1990 und 2008 von 12% auf 24% zu. Im gleichen Zeitraum nahm der Anteil der Fahrzeuge ohne Abgasreinigung von 79% auf 2% ab. Im Jahr 2008 lag der Anteil der modernen Euro-4-Fahrzeuge bei 45%. Seit 2008 kommen auch Euro-5-Fahrzeuge in den Markt (Anteil 2008: 3%).

Bei den **leichten Nutzfahrzeugen** nahm seit 1990 der Anteil der Dieselfahrzeuge stark zu mit einem Trend zu größeren Fahrzeugen. Der Dieselananteil lag im Jahr 2008 bei 91%. Dominierend im Jahr 2008 war der Euro-3 Standard mit 34% Anteil.

Die **schweren Nutzfahrzeuge** für den Gütertransport sind in der Bestandsentwicklung rückläufig, wobei der Bestand an Sattelzügen deutlich zugenommen hat.

Schließlich sind in TREMOD die Bestände der Kleinkrafträder, Krafträder, Busse und übrige Kfz enthalten. Der Bestand an Motorrädern hat zwischen 1990 und 2008 zugenommen, wogegen der Busbestand abgenommen hat.

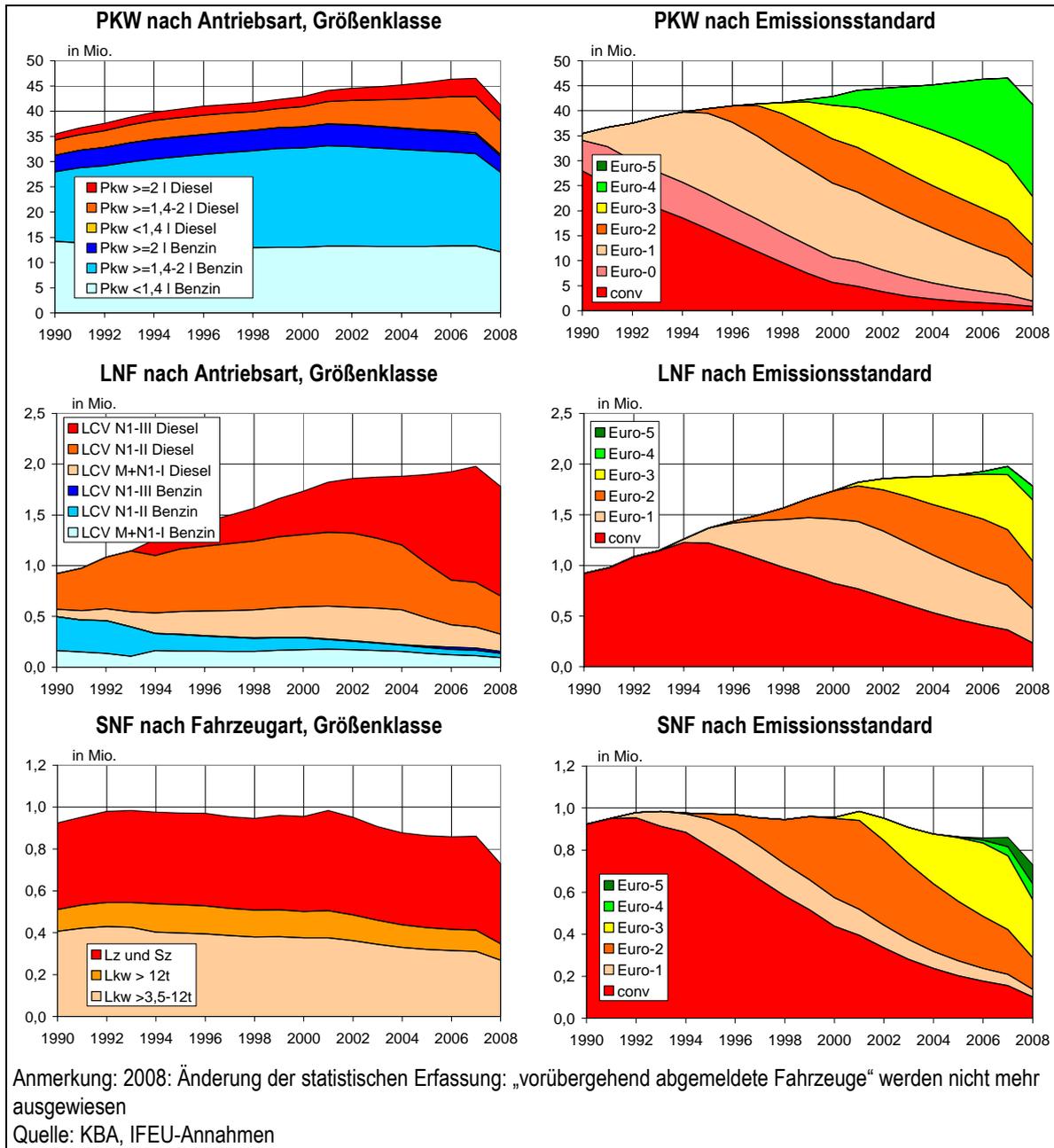


Abb. 7: Bestände nach Fahrzeugkategorien 1990-2008

Daten und Methoden der Fahrleistungsberechnung

Die Inlandsfahrleistungen sind die verkehrliche Grundlage der Emissionsberechnungen. Hierzu gibt es bisher keine offizielle statistische Grundlage. Daher müssen verschiedene Datenquellen herangezogen werden um ein konsistentes Fahrleistungsgerüst für Deutschland in der Zeitreihe zu erstellen. Die wichtigsten Grundlagen sind:

- Die Straßenverkehrszählungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (jährlich: Automatische Dauerzählungen auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen, z.B. [BASt 2009a], alle fünf Jahre: manuelle Zählungen auf Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen, in manchen Bundesländern auch Kreisstraßen, z.B. [DTV 2007a]). Die Zählungen finden nur auf außerörtlichen Abschnitten statt, so dass der gesamte Innerortsverkehr nicht enthalten ist.
- Verschiedene Fahrleistungserhebungen und Untersuchungen zum Mobilitätsverhalten; bei diesen Untersuchungen wird in der Regel nur der Inländerverkehr erfasst, z.B. [MiD 2002].
- Die Fahrleistungs- und Verbrauchsrechnung des DIW [ViZ].
- Untersuchungen zur Ableitung der gesamten Inlandsfahrleistungen in Deutschland gab es für die Jahre 1986, 1990, 1993 und 2002 [Heusch-Boesefeldt 1994a,b, 1996a], [IVT 2004a].
- Weitere Informationsquellen sind z.B. die Mautstatistik [BAG 2008] und die Güterkraftverkehrstatistik [KBA_BAG].
- Aus diesen Informationen wird für TREMOD ein konsistentes Fahrleistungsgerüst erstellt, das die Fahrleistungen für alle Fahrzeugkategorien und Straßenkategorien jahresfein ausweist. Für die Emissionsberechnung muss die Fahrleistung weiter nach Verkehrssituationen und Fahrzeugschichten unterteilt werden. Hierzu enthalten einzelne Untersuchungen Informationen:
 - Die Aufteilung Verkehrssituationen (Straßencharakteristik, Verkehrszustand): [Heusch-Boesefeldt 1996a].
 - Die Aufteilung nach Fahrzeugschichten (Antrieb, Größenklasse, Alter bzw. Emissionsstandard): [Heusch-Boesefeldt 1996a], [IVT 1994a, 2004a], [BAG 2008].

Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorien

Die Inlandsfahrleistungen in Deutschland werden dominiert von der Pkw-Fahrleistung (Anteil 2008: 83%). Diese haben von 1990 bis 2008 um 18% zugenommen. Im gleichen Zeitraum stiegen die Fahrleistungen der schweren Nutzfahrzeuge um 59% und, mit Abstand am meisten, die der leichten Nutzfahrzeuge (+166%).

Von 1990 bis 2008 gab es eine deutliche Verschiebung der Fahrleistungen hin zu Fahrzeugen mit Dieselantrieb (Anteil Fahrzeuge mit Ottomotor 1990: 78%, 2008 53%).

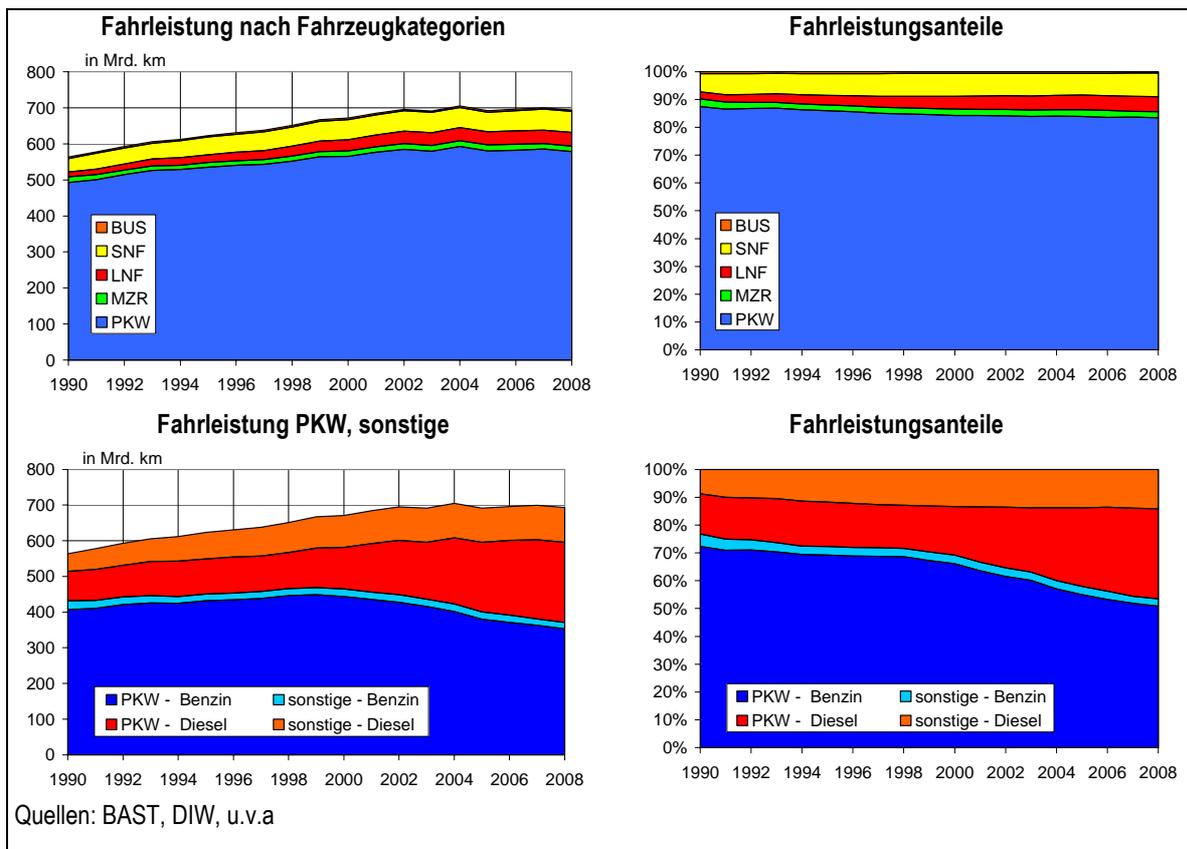


Abb. 8: Fahrleistungen und Anteile nach Fahrzeugkategorien 1990-2008

Fahrleistungen nach Antriebsart, Größenklassen und Alter

In TREMOD wird die gesamte Jahresfahrleistung je Fahrzeugkategorie, differenziert nach Straßenkategorien, zugrunde gelegt. Für die Emissionsberechnung müssen die Fahrleistungen weiter in die emissionsrelevanten Fahrzeugschichten unterteilt werden. Allerdings unterscheiden sich die durchschnittlichen Jahresfahrleistungen der verschiedenen Fahrzeugschichten oft deutlich voneinander. Aus verschiedenen Untersuchungen (v.a. [Heusch-Boesefeldt 1996a], [IVT 1994a, 2004a], [BAG 2008]) ist z.B. bekannt, dass

- Diesel-Pkw eine höhere mittlere Jahresfahrleistung haben als Otto-Pkw.
- Große Pkw eine höhere Fahrleistung haben als kleine Pkw.

- Die Jahresfahrleistung aller Kraftfahrzeuge mit dem Alter abnimmt.
- Größere Fahrzeuge häufiger auf Autobahnen unterwegs sind als kleinere.

In TREMOD werden diese Effekte in Form von Gewichtungsfaktoren berücksichtigt. Die Gewichtungsfaktoren werden so aufbereitet, dass sie mit den Bestandsanteilen verknüpft für jede Fahrzeugkategorie die relative Fahrleistungsverteilung nach Fahrzeugschichten für jede der drei Straßenkategorien Innerorts, Außerorts und Autobahn ergibt. Die untere Abbildung zeigt einige der verwendeten Fahrleistungsrelationen für die Pkw und SNF

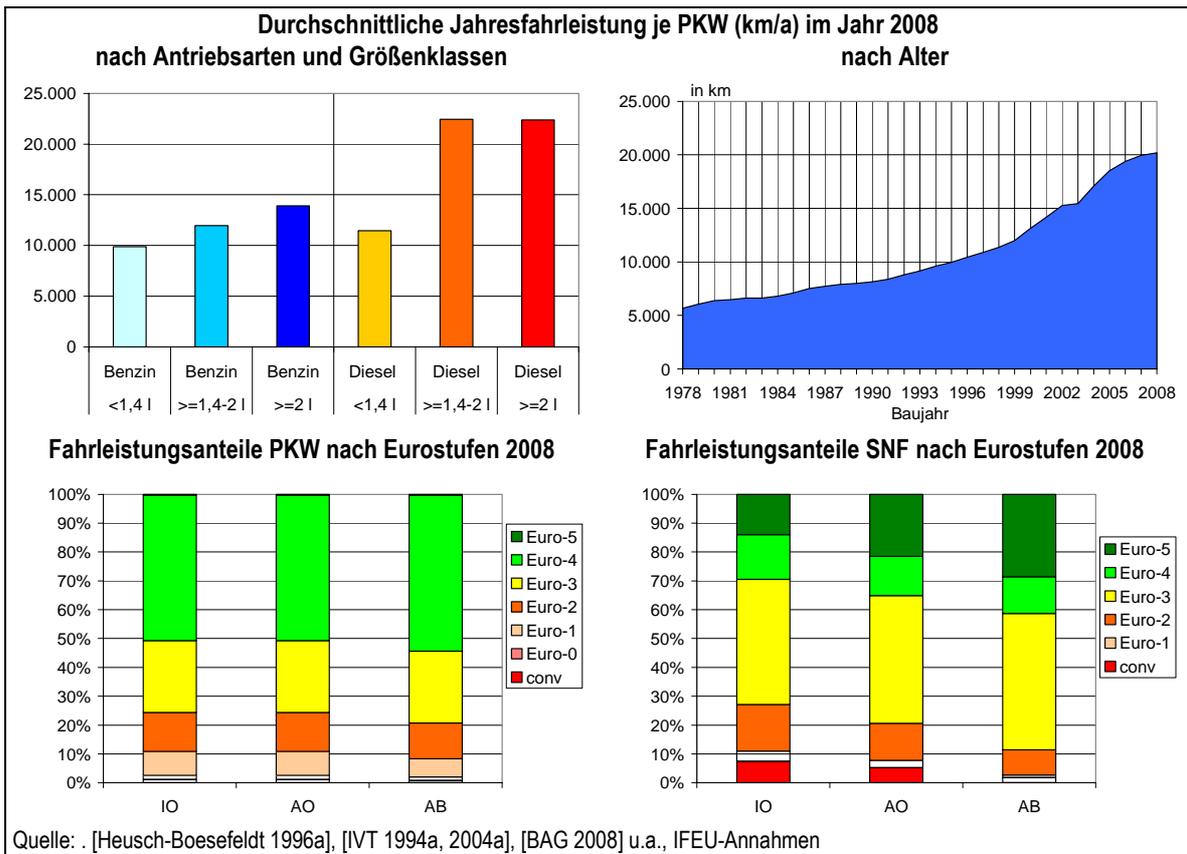


Abb. 9: Fahrleistungsrelationen der Pkw und SNF 2008 nach verschiedenen Merkmalen

Fahrleistungen nach Straßenkategorien

Eine Differenzierung der Inlandsfahrleistungen nach den Straßenkategorien Autobahn, Außerorts und Innerorts liegt nicht vor. Sie wurde daher für TREMOD für jede Fahrzeugkategorie abgeleitet. Dazu wurden die Ergebnisse der Straßenverkehrszählungen verwendet, die den Verkehr auf Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen und für einen Teil der Kreisstraßen regelmäßig erfassen. Die Differenz zwischen der Inlandsfahrleistung und der so durch Zählungen erfassten Fahrleistung beinhaltet überwiegend die Fahrleistung auf Innerortsstraßen und zu einem kleinen Teil auf außerörtlichen Gemeindestraßen.

Die Verteilung der Fahrleistungen auf die Straßenkategorien ist für die verschiedenen Fahrzeugkategorien unterschiedlich. Bei Pkw haben die Außerortsstraßen den höchsten Anteil, bei den leichten Nutzfahrzeugen die Innerortsstraßen und bei den schweren Nutzfahrzeugen die Autobahnen. Insgesamt hat die Fahrleistung auf den Autobahnen stärker zugenommen als auf den anderen Straßenkategorien. Diese nimmt auch seit 2002 weiter zu, wogegen die Fahrleistungen auf den übrigen Straßenkategorien zurückgehen.

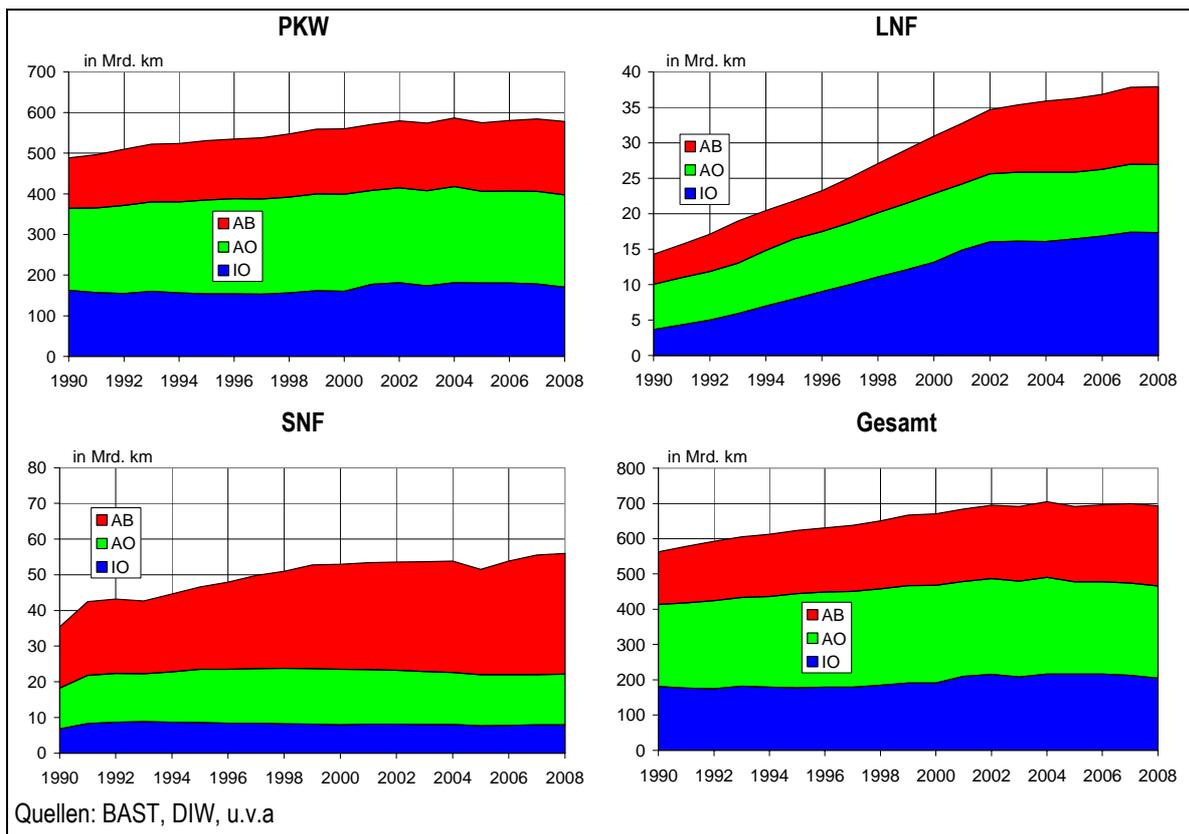


Abb. 10: Fahrleistung nach Straßenkategorie 1990-2008

Fahrleistungen nach Verkehrssituationen

Die Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs werden vom HBEFA für einzelne Verkehrssituationen aufbereitet. Für die Hochrechnung ist es daher notwendig, dass die Fahrleistungen nach diesen Verkehrssituationen differenziert vorliegen. Daher wurden Anfang der 90er Jahre Untersuchungen durchgeführt, in denen die Fahrleistungen differenziert nach Verkehrssituationen aufbereitet wurden [Heusch-Boesefeldt 1994a,b,1996a]. Da die damali-

gen Ergebnisse bisher nicht aktualisiert wurden, werden diese Fahrleistungsanteile der Verkehrssituationen weiterhin in TREMOD verwendet.

Da die Emissionsfaktoren außerdem abhängig sind von Steigung und Gefälle, erfolgt in TREMOD zusätzlich eine Differenzierung nach Längsneigungsklassen. Basis ist ebenfalls die Untersuchung aus den 90er Jahren.

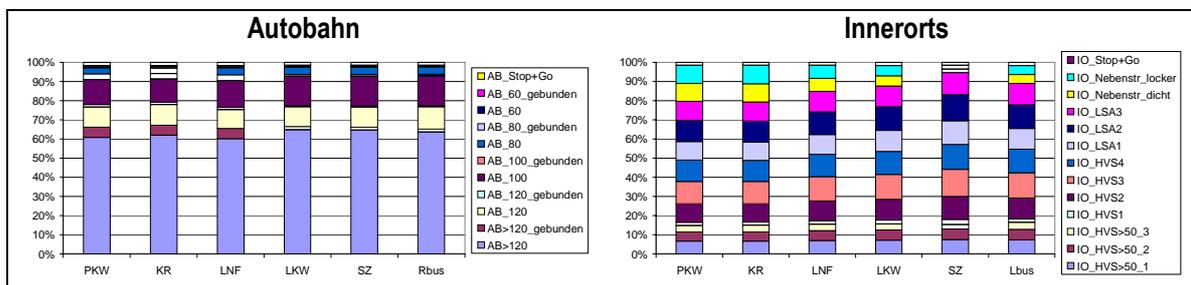


Abb. 11: Anteile der Verkehrssituationen auf Autobahnen und Innerortsstraßen

Spezifischer Energieverbrauch und Kohlendioxidemissionen

Der spezifische Energieverbrauch der Kraftfahrzeuge in TREMOD basiert auf den im HBEFA vorgegebenen Verbrauchsfaktoren der Fahrzeugschichten berechnet. Für die **Pkw** sind diese Werte allerdings nicht zuverlässig genug, da sich die bei der Messung verwendeten Fahrzeuge für eine Emissionsschicht aus Fahrzeugen mehrerer Baujahre zusammensetzen und die relativ geringe Anzahl an Fahrzeugen nicht repräsentativ für den Verbrauch sind. Aus diesem Grund erfolgt im HBEFA eine Anpassung an die Entwicklung der Neuzulassungen im NEFZ (Neuer europäischer Fahrzyklus), differenziert nach Baujahren, Antriebsart und Größenklasse. Dazu wurde im HBEFA 2.1 der Verbrauch der Euro-2-Fahrzeugschichten als Referenz für die Neuzulassungen des Jahres 1995 genommen und die Verbrauchswerte der übrigen Baujahre entsprechend der prozentualen Entwicklung nach dem CO₂-Monitoring für Neuzulassungen bestimmt. Dieses Verfahren ist mit Unsicherheiten behaftet, da der NEFZ-Verbrauch nicht unbedingt den Verbrauch in der Realität widerspiegelt. Eine andere Datenbasis liegt aber derzeit nicht vor.

Insgesamt nahmen die spezifischen CO₂-Emissionen der Pkw-Neuzulassungen von 1990 bis 2008 um 22% von 211 g/km auf 165 g/km ab. Dies entspricht einem durchschnittlichen Kraftstoff-

verbrauch bei Diesel-Pkw von 6,3 l/100 km, bei Otto-Pkw von 7,0 l/100 km.

Bei den übrigen Fahrzeugkategorien werden die spezifischen Energieverbrauchswerte direkt aus dem HBEFA übernommen. Diese wurden z.T. über Realmessungen verifiziert, z.B. bei den 40-Tonnen-Lkw ([TU Graz 2002a, 2003a]).

Mit TREMOD werden so beispielsweise für das Jahr 2008 folgende mittlere Verbrauchswerte für die gesamte Fahrzeugflotte berechnet:

Pkw: Otto: 7,9 l/100 km, Diesel: 7,0 l/100 km

LNF: Otto: 9,4 l/100 km, Diesel: 10,2 l/100 km

Sattelzug, 34-40t Diesel: 33,9 l/100 km

Die entsprechenden CO₂-Werte sind nachfolgend aufgelistet:

Pkw: Otto: 184 g/km, Diesel: 174 g/km

LNF: Otto: 220 g/km, Diesel: 270 g/km

Sattelzug, 34-40t Diesel: 845 g/km

Diese Mittelwerte aus TREMOD sind über die Fahrleistung und nicht über den Fahrzeugbestand gewichtet. Damit gehen nicht nur Änderungen in der Flottenzusammensetzung sondern auch Verschiebungen von Fahrleistungsanteilen zwischen den Straßenkategorien in den Mittelwert ein.

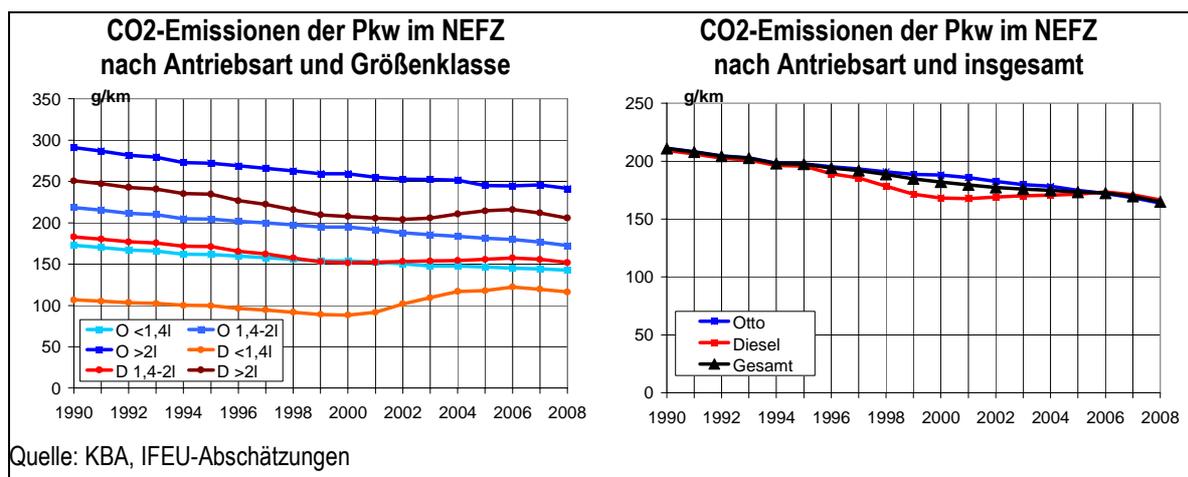


Abb. 12: CO₂-Emissionen der neuzugelassenen Pkw in Deutschland 1990-2008

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs werden aus dem HBEFA übernommen. Hierbei wird unterschieden nach

- Emissionen im warmen Betriebszustand
- Zusätzliche Emissionen durch Kaltstart
- Kohlenwasserstoffemissionen durch Verdunstung beim Warmabstellen
- Kohlenwasserstoffemissionen durch Verdunstung des Tanksystems aufgrund von Temperaturdifferenzen.

Die Emissionsfaktoren für die limitierten Schadstoffe (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickstoffoxide, Partikel) sind differenziert nach Fahrzeugschichten und Verkehrssituationen und berücksichtigen zusätzlich die Längsneigung und Verschlechteungsfaktoren der geregelten Dreiwege-Katalysatoren bei zunehmender Laufleistung. Außerdem wird der Einfluss verschiedener Kraftstoffqualitäten auf die Emissionen berücksichtigt.

Die Emissionen für einige Komponenten (Blei, Schwefeldioxid, Kohlendioxid) sind direkt kraftstoff-

abhängig. Für einige nicht-limitierte Komponenten (u.a. Methan, Benzol, Distickstoffoxid, Ammoniak) liegen nur wenige Informationen vor, so dass die Datenbasis wesentlich weniger differenziert ist.

Weitere Details zu den Emissionsfaktoren sind der Dokumentation zum HBEFA 2.1 [INFRAS 2004a] und dem Anhang zu entnehmen.

Die Emissionsfaktoren des neuen HBEFA 3.1 konnten nicht mehr in TREMOD 5.1 übernommen werden, da das neue HBEFA bei Projektabschluss noch nicht vorlag. Allerdings wurden erste Ergebnisse aus dem neuen Handbuch bei folgenden Fahrzeugschichten gegenüber TREMOD 4.17 berücksichtigt:

- Änderung der Emissionsfaktoren von Diesel-Pkw der Stufen Euro-3 und Euro-4: erhöhte Emissionsfaktoren für NOx.
- Keine Abnahme des Energieverbrauchs bei schweren Nutzfahrzeugen der Stufen Euro-IV und Euro-V.

Parameter für Kaltstart- und Verdunstungsemissionen

Für die Berechnung der Kaltstart- und Verdunstungsemissionen spielen weitere Faktoren eine Rolle, wie Temperaturverläufe (Tages- und Jahreszeitenverläufe), Luftfeuchtigkeit, Fahrlängen, Startzeit-

ten und Abstellauern. Für diese werden in TREMOD typische Durchschnittswerte bzw. –verteilungen angenommen. Details sind im Anhang dargestellt.

Vorzeitige Ausstattung von Fahrzeugen mit Partikelfiltern

Vor allem Diesel-Pkw und Linienbusse wurden in den vergangenen Jahren mit Partikelfiltern nachgerüstet oder neu zugelassen und unterschreiten daher die gesetzlichen Mindeststandards, die von Euro-4/IV und älter gefordert werden, deutlich.

In TREMOD wird die vorzeitige Ausstattung mit Partikelfiltern wie folgt berücksichtigt:

Neue **Diesel-Pkw** werden seit 2005 zunehmend mit Partikelfilter ausgerüstet. In TREMOD werden die folgenden Anteile an den Neuzulassungen angenommen:

2005:	47%
2006:	68%
2007:	83%
2008:	90%

(Quelle: Angaben Pressemitteilung KBA, 2007, IFEU Schätzungen)

Bei **Linienbussen** werden folgende Annahmen getroffen:

Nach Angaben des VDV waren im Jahr 2003 rund 6.000 im Jahr 2005 rund 11.000 Busse mit Partikelfiltern ausgerüstet /VDV 2003, 2005/. Diese Entwicklung wird berücksichtigt, indem für die verschiedenen Zulassungsjahrgänge der Linienbusse folgende Anteile an Fahrzeugen mit Partikelfilter unterstellt werden:

1997:	20%
1998:	40%
1999:	50%
2000:	60%
2001:	70%
ab 2002:	80%

Schienenverkehr

Abgrenzung Schienenverkehr

Beim Schienenverkehr wird unterschieden in den kommunalen Verkehr mit Straßen-, Stadt- und U-Bahnen, den Eisenbahnverkehr der DB AG, der sonstigen Unternehmen des öffentlichen Verkehrs, und des nichtöffentlichen Verkehrs (Werkverkehr). Weiter wird differenziert in die Verkehrsarten Personennah-, -fern- und Güterverkehr. Fahrzeugtechnisch wird unterschieden nach Diesel- und Elektrotraktion.

Die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen des Schienenverkehrs erfolgt in TREMOD

somit bisher auf einer aggregierten Ebene. Allerdings liegen dem – zumindest beim Verkehr der DB AG - differenzierte Werte (unterschieden nach Zuggattungen, Baureihen und Motoren) zugrunde, die vom Bahn-Umwelt-Zentrum jährlich aufbereitet, aggregiert und für TREMOD bereitgestellt werden [DB 2009a].

Ein sehr differenzierter Datensatz wurde z.B. in der Studie [IFEU 2003c] verwendet. Diese Studie beschreibt auch die Methode, die bei der Aggregation angewandt wird.

Berechnungsmethodik

Ausgangspunkt der Emissionsberechnungen in TREMOD sind die Verkehrs- bzw. Transportleistungen und die Betriebsleistungen (Platz-km bzw. angebotene Tonnenkilometer), die über den Auslastungsgrad verknüpft sind. Je Platzkilometer bzw. Angebotenem Tonnenkilometer sind spezifische Energieverbrauchskennzahlen und für die Emissionsberechnung energiebezogene Emissionsfaktoren (direkt und Vorkette) hinterlegt. Mit diesen Kennzahlen wird die TREMOD-Berechnung durchgeführt.

Die Kennzahlen werden aus den vorliegenden statistischen Angaben und technischen Kennzahlen der Fahrzeuge für die Realjahre ermittelt. Mit der Ausgangsgröße „Verkehrsleistung“ und der Variationsmöglichkeit aller anderen Parameter ist das Modell szenarienfähig. In den folgenden Abschnitten werden die aufgeführten Kennzahlen für die Realjahre ab dem Jahr 1990 beschrieben, für das Trendszenario in Teil 3.

Der Berechnungsablauf ist im Detail im Anhang beschrieben..

Verkehrs- und Betriebsleistungen

Die Verkehrsleistungen des Eisenbahnverkehrs haben seit 1994 zugenommen, vor allem beim Personennahverkehr und beim Güterverkehr. Der Anteil der sonstigen Eisenbahnunternehmen ist in den vergangenen Jahren deutlich angestiegen und lag im Jahr 2008 im Personennahverkehr bei 10% und im Güterverkehr bei über 20%.

Die durchschnittliche **Auslastung** hat sich vor allem im Personenfern- und Güterverkehr verbessert: Im Personenfernverkehr stieg sie von 40% im Jahr 2000 auf 46% im Jahr 2008. Im Güterverkehr der DB AG stieg die Auslastung zwischen 2000 und 2008 von 40% auf 48%.

Der **Anteil der Dieseltraktion** an der Betriebsleistung ist bei der DB AG in allen Verkehrsbereichen

zurückgegangen: Bei der DB AG lag der Dieselanteil im Jahr 2008 im Personennahverkehr bei 18%, im Personenfernverkehr noch bei 2,3% und im Güterverkehr (ohne Rangieren) bei 4,2%. Im Jahr 2000 waren es noch 27% (Personennahverkehr), 4,5% (Personenfernverkehr) und 8,2% (Güterverkehr).

Für die sonstigen Eisenbahnen liegen nur sehr unvollständige Daten zu den Betriebsleistungen vor. Neuere Betriebsleistungs- und Verbrauchszahlen des VDV deuten aber darauf hin, dass die Betriebsleistung mit Dieseltraktion bei den sonstigen Bahnen in den vergangenen Jahren zugenommen haben [VDV 2008a].

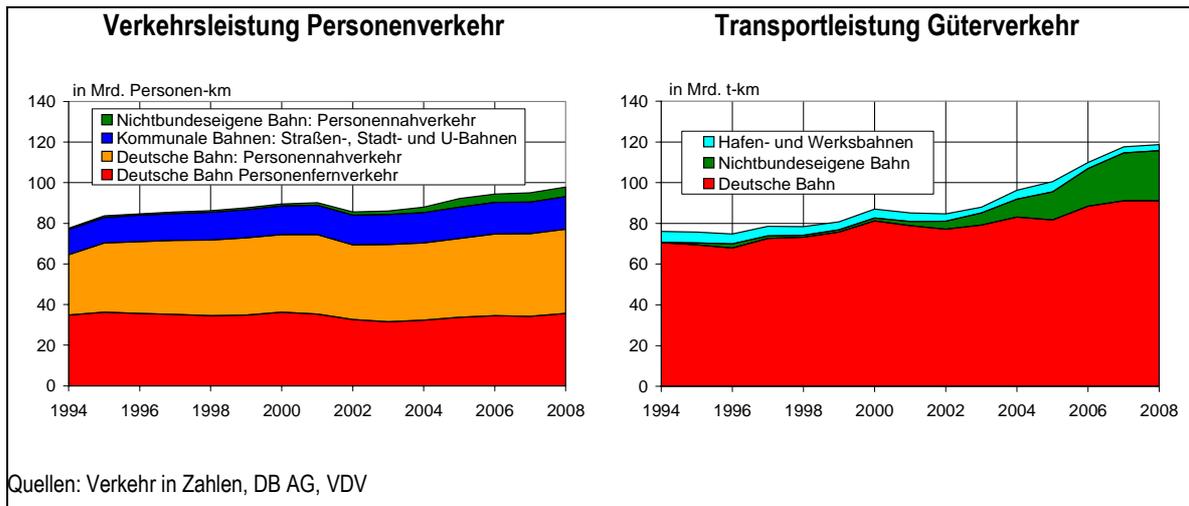


Abb. 13: Verkehrsleistungen der Bahnen in Deutschland 1994-2008

Energieverbrauch

Der Traktionsenergieverbrauch (das ist der Energieverbrauch für den Fahrbetrieb) der Bahnen ist in den vergangenen Jahren zurückgegangen. Trotz zunehmender Verkehrsleistungen blieb der Stromverbrauch für den Fahrbetrieb annähernd gleich. Der Dieserverbrauch ist bei der DB AG erwartungsgemäß rückläufig. Nach den vorliegenden Daten nimmt der Dieserverbrauch der sonstigen Bahnunternehmen seit einigen Jahren stark zu [VDV 2008a], so dass der Dieserverbrauch insgesamt sein 2002 stagniert. 2008 könnten so rund ein Drittel des Dieserverbrauchs von den Bahnen außerhalb der DB AG verbraucht worden sein.

Der Stromverbrauch des Schienenverkehrs liegt bei der AG Energiebilanzen stets deutlich höher als über andere Statistiken nachweisbar ist. Es besteht die Vermutung, dass die AG Energiebilanzen auch andere, nicht traktionsbedingte und nicht zum Schienenverkehr gehörende Energieverbräuche erfasst. Mangels Dokumentation seitens der AG Energiebilanzen kann dies jedoch nicht überprüft werden.

Der Endenergieverbrauch der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen weicht von den mit TREMOD berechneten Werten z.T. deutlich ab:

Beim Dieselmotorkraftstoff bilanziert die AG Energiebilanzen auch für die letzten Jahre einen weiter zurückgehenden Verbrauch. Auch hier kann nur vermutet werden, dass die Informationsgrundlage der AG Energiebilanzen eine andere ist als in TREMOD.

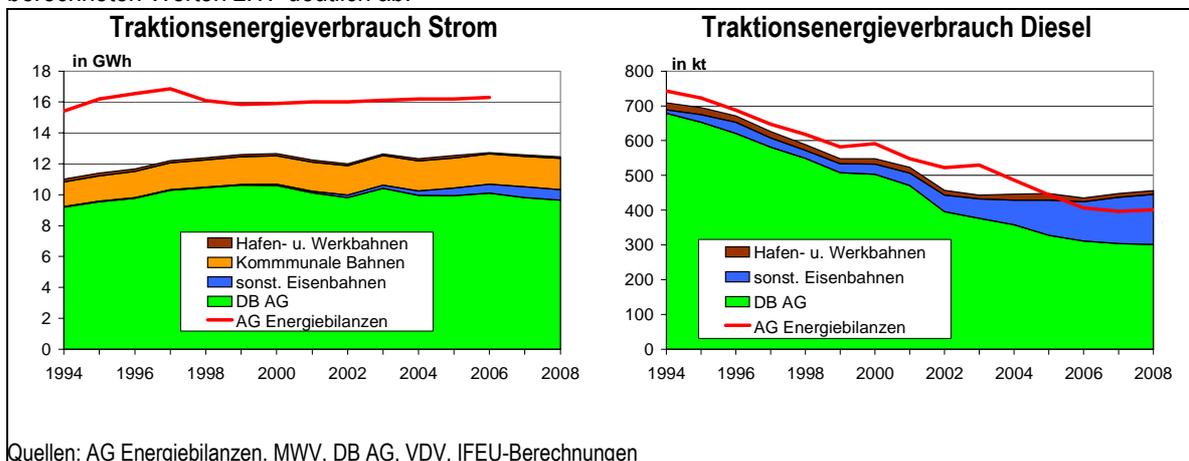


Abb. 14: Traktionsenergieverbrauch der Bahnen in Deutschland 1994-2008

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren der Dieseltraktion werden von der DB AG motorenfein entsprechend ihrer Anteile an der Betriebsleistung im Personennah-, Personenfern- und Güterverkehr sowie für Rangieren abgeleitet. Das grundsätzliche Verfahren wurde im Rahmen einer Studie des Umweltbundesamtes zusammen mit IFEU entwickelt [IFEU 2003c]. Grundlage sind die Emissionsfaktoren der Motoren im ISO-F-Zyklus. Ergebnis der jährlichen Aufbereitung sind kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren für Stickstoffoxid, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Partikel in g/kg, jeweils für Personennah-, Personenfern- und Güterverkehr sowie Rangieren.

Da für die übrigen Bahnen keine Informationen zum Emissionsverhalten vorliegen, werden die Werte der DB AG auch für die übrigen Bahnen verwendet.

Für die kraftstoff-bezogenen Emissionen (Kohlendioxid und Schwefeldioxid) werden die gleichen Werte wie beim Straßenverkehr angesetzt.

Keine Informationen für Schienenfahrzeuge liegen vor für Distickstoffoxid und Ammoniak. Für diese Komponenten werden die Emissionsfaktoren konventioneller schwerer Nutzfahrzeuge, umgerechnet auf energiebezogene Werte, verwendet (siehe Kapitel „Konventionen und wichtige Kennzahlen“). Für die differenzierten Kohlenwasserstoffe (Benzol, Methan, Xylol und Toluol) werden die Anteilswerte der kon-

ventionellen schweren Nutzfahrzeuge des Straßenverkehrs verwendet.

Komp.	Zugart	1995	2004	2008
CO	Rangieren	18,0	11,5	6,4
	GV	11,5	9,5	9,3
	PFV	14,1	8,0	7,3
	PNV	10,8	5,9	4,5
HC	Rangieren	2,9	2,9	2,3
	GV	5,3	5,8	4,6
	PFV	6,8	3,4	2,4
	PNV	4,1	2,2	1,8
NOx	Rangieren	49,4	42,7	39,9
	GV	50,6	55,0	48,4
	PFV	60,0	49,3	51,0
	PNV	51,2	49,6	42,3
Part	Rangieren	1,9	1,6	1,2
	GV	1,9	1,7	1,4
	PFV	1,8	1,0	0,7
	PNV	1,9	0,7	0,6
Anmerkung: Die Emissionsfaktoren liegen in Jahresschritten vor.				

Tab. 10: Emissionsfaktoren des dieselbetriebenen Schienenverkehrs (in g/kg) für ausgewählte Jahre

Binnenschifffahrt

Abgrenzung und Berechnungsmethodik Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt wird in TREMOD bisher nicht differenziert. Basis ist die offiziell ausgewiesene Verkehrsleistung des statistischen Bundesamtes und der Dieselkraftstoffverbrauch nach Energiebilanz. Zur Berechnung des Inlandsverbrauchs wird ein gegenüber den vorigen TREMOD-Versionen unveränderter spezifischer Verbrauchswert von 10 g/tkm verwendet. Zwar liegen mittlerweile neuerer Untersuchungen zum Energieverbrauch der Binnenschifffahrt vor. Deren Ergebnisse lassen sich aber nicht

ohne weiteres für TREMOD verwenden, da Informationen über die Zusammensetzung der Schiffsflotte im Jahresdurchschnitt, die dabei erzielte mittlere Auslastung, die Verteilung der Betriebsbedingungen (bergauf, bergab, Geschwindigkeit) u.a. fehlen.

Ebenfalls keine neuen Informationen liegen vor für repräsentative Emissionsfaktoren, die daher ebenfalls unverändert aus der vorherigen Version übernommen werden.

Verkehrsleistungen

Die Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt sind zwischen 1994 und 2008 nahezu konstant

geblieben mit Schwankungen zwischen 58 und 65 Mrd. tkm.

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch nach Energiebilanz ging von 694 kt im Jahr 1994 bis auf 133 kt im Jahr 2008 zurück. Bei dem angenommenen Wert von 10 g/km kommt man im Jahr 1994 auf einen Inlandsverbrauch von 618 kt, der somit unter dem Energie-

bilanzwert liegt. Im Jahr 2008 ist der berechnete Inlandswert mit 614 kt deutlich über dem Energiebilanzwert (133 kt). Gründe für den starken Rückgang des Endenergieverbrauch nach Energiebilanz sind nicht bekannt.

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt werden wie bisher angesetzt. Es wird angenommen, dass sich die Ausgangswerte von 1994 bis 2008 leicht verbessert haben.

Keine Informationen für Binnenschiffe liegen vor für Distickstoffoxid und Ammoniak. Für diese Komponenten werden die Emissionsfaktoren konventioneller schwerer Nutzfahrzeuge, umgerechnet auf energiebezogene Werte, verwendet (siehe Kapitel „Konventionen und wichtige Kennzahlen“). Für die differenzierten Kohlenwasserstoffe (Benzol, Methan, Xylol und Toluol) werden die Anteilswerte der kon-

ventionellen schweren Nutzfahrzeuge des Straßenverkehrs verwendet.

	1994	2008
CO	12	10
HC	4,80	4,25
NOx	60	58
Part	2,00	1,82
Quelle: Borken 1999		

Tab. 11: Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt

Flugverkehr

Abgrenzung des Flugverkehrs

Der Flugverkehr wird nach dem Standortprinzip berechnet: Erfasst wird die Verkehrsleistung der von deutschen Verkehrsflughäfen abgehenden Flüge bis zur ersten Zwischenlandung. Es wird unterstellt, dass diese Verkehrsleistung mit dem auf den Flughäfen getankten Kraftstoff erbracht wird. Dies entspricht dem Endenergieverbrauch in der Energiebilanz.

In TREMOD wird der Flugverkehr unterschieden in den Inlandsflugverkehr (Verkehr zwischen den in-

ländischen Verkehrsflughäfen) und den abgehenden grenzüberschreitenden Flugverkehr. Weiter wird differenziert in Personen- und Güterverkehr.

Der in der Energiebilanz ausgewiesene Verbrauch von Flugbenzin für Kleinflugzeuge, Hubschrauber etc. wird ebenfalls, ohne Zuordnung einer Verkehrsleistung, berücksichtigt.

Berechnungsmethodik

Die Verkehrs- und Betriebsleistungen (hier: angebotene Nutzlast-km) sowie die Auslastungsgrade werden vom statistischen Bundesamt in der geforderten Differenzierung bereit gestellt. Für die Zuordnung von Energieverbrauch und Emissionen werden folgende Zuordnungsregeln verwendet:

- Die Personenkilometer werden in Tonnenkilometer umgerechnet. Hierzu wird im Inlandsverkehr ein Gewicht je Person von 92 kg angenommen, im grenzüberschreitenden Verkehr 97,5 kg (inklusive Gepäck).
- Für Zusatzausstattung beim Personentransport (Sitzplätze, Toiletten etc.) wird ein Zuschlagsfaktor von 1,7 verwendet. Damit wird z.B. eine Person im grenzüberschreitenden Verkehr mit einem Gewicht von $97,5 \text{ kg} \cdot 1,7 = 165,75 \text{ kg}$.

- Für den Inlandsflugverkehr wird ein um den Faktor 1,5 höherer spezifischer Energieverbrauch je angebotenen Nutzlastkilometer angenommen.
- Grundlage für die Aufteilung ist der Endenergieverbrauch nach Energiebilanz.

Mit diesen Annahmen lässt sich der Energieverbrauch auf Personen- und Güterverkehr einerseits sowie Inlands- und grenzüberschreitenden Verkehr andererseits aufteilen.

Die nach diesem Verfahren berechneten spezifischen Energieverbrauchswerte je Personen- bzw. Tonnenkilometer passen gut zu anderen Angaben (z.B. Verbrauchsangaben für einzelne Flugzeugtypen oder Jahreswerten der Deutschen Lufthansa und anderer Fluggesellschaften). Die Emissionsberechnung erfolgt schließlich mit kraftstoffbezogenen Emissionsfaktoren.

Verkehrs- und Betriebsleistungen

Die Verkehrsleistung des Flugverkehrs ist in der Vergangenheit stark angestiegen. Die Personen-

und Güterverkehrsleistung hat sich zwischen 1994 und 2008 in etwa verdoppelt.

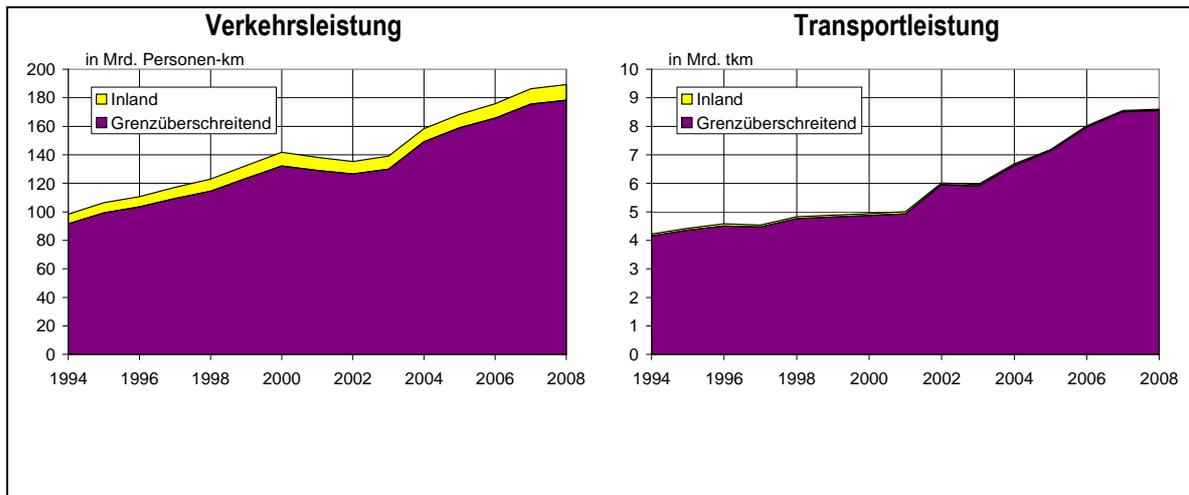


Abb. 15: Entwicklung der Verkehrsleistungen des Flugverkehrs in Deutschland 1994-2008

Energieverbrauch

Die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs erfolgt mit der oben beschriebenen Methodik. Bezugsgröße ist also ein spezifischer Wert je angebotenen Nutzlast-km, der für den Inlandsflugverkehr um den Faktor 1,5 höher angenommen wird als im grenzüberschreitenden Flugverkehr. Diese Energiekennzahl wird so abgeleitet, dass als Berechnungsergebnis für den Energieverbrauch des gesamten Flugverkehrs der Endenergieverbrauch für Kerosin nach Energiebilanz herauskommt.

Die folgende Abbildung zeigt die so berechneten spezifischen Werte für den grenzüberschreitenden Verkehr zwischen 1994 und 2008.

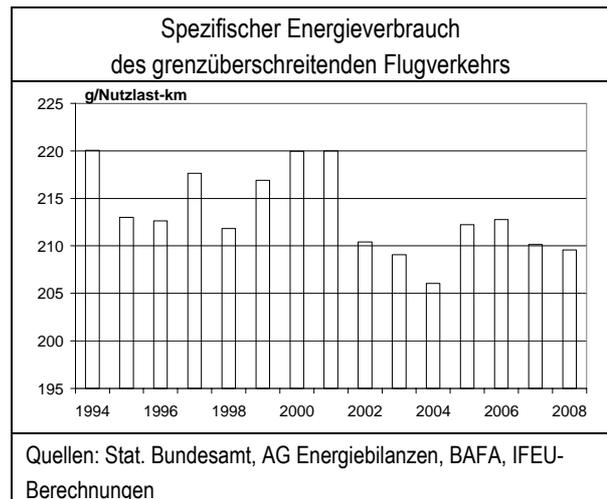


Abb. 16: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs des grenzüberschreitenden Flugverkehrs 1994-2008

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren wurden vom Umweltbundesamt abgeleitet [UBA2004a] und sind im Anhang dargestellt.

Ergebnisse: Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs 1960-2008

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse der Berechnungen für die Entwicklung bis 2008 dargestellt.

Die Darstellung für alle Verkehrsträger beinhaltet die energetischen Vorketten. Die Ergebnisse für den Straßenverkehr werden aufgrund ihrer Bedeutung zusätzlich extra in einem eigenen Abschnitt ohne energetische Vorketten dargestellt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist insbesondere auf folgende Besonderheiten zu achten:

➤ Dargestellt werden die Ergebnisse für den Inlandsverkehr sowie beim Flugverkehr der

grenzüberschreitende Verkehr bis zur ersten Zwischenlandung.

➤ Die direkten CO₂-Abgasemissionen der Biokraftstoffe werden, wie die konventionellen Kraftstoffe, aufgrund ihres Kohlenstoffgehalts berechnet. Bei Berechnung der Gesamtemissionen (also direkte Emissionen inkl. Energiebereitstellung) sind die spezifischen CO₂-Emissionen entsprechend den Vorgaben der Nachhaltigkeitskriterien um 50% bzw. 60% (ab 2018) niedriger als die der konventionellen Kraftstoffe.

Primärenergieverbrauch aller Verkehrsträger

Der Primärenergieverbrauch des Verkehrs in Deutschland hat sich zwischen 1960 und 1999 mehr als verdreifacht. Seit 2000 hat sich das Wachstum deutlich verlangsamt. 2008 lag der Primärenergieverbrauch nur um 1% über dem Wert von 2000. Ursache dafür ist der geringere jährliche Anstieg und in einigen Jahren der Rückgang der Verkehrsleistungen des Pkw-Verkehrs.

Den höchsten Anteil am Primärenergieverbrauch hat der Straßenverkehr und damit die Otto- und Dieselmotoren.

Der Energieverbrauch der Eisenbahn nahm durch den Wechsel von Kohle- auf Elektrotraktion stark ab. Eine starke Zunahme verzeichnet dagegen der Kerosinverbrauch durch den Anstieg des Flugverkehrs.

Biokraftstoffe erreichten bis zum Jahr 2007 einen Anteil von 7,1%. Im Jahr 2008 gab es einen Rückgang auf 5,9%, da deutlich weniger reine Biokraftstoffe (Biodiesel und Pflanzenöl) verbraucht wurden.

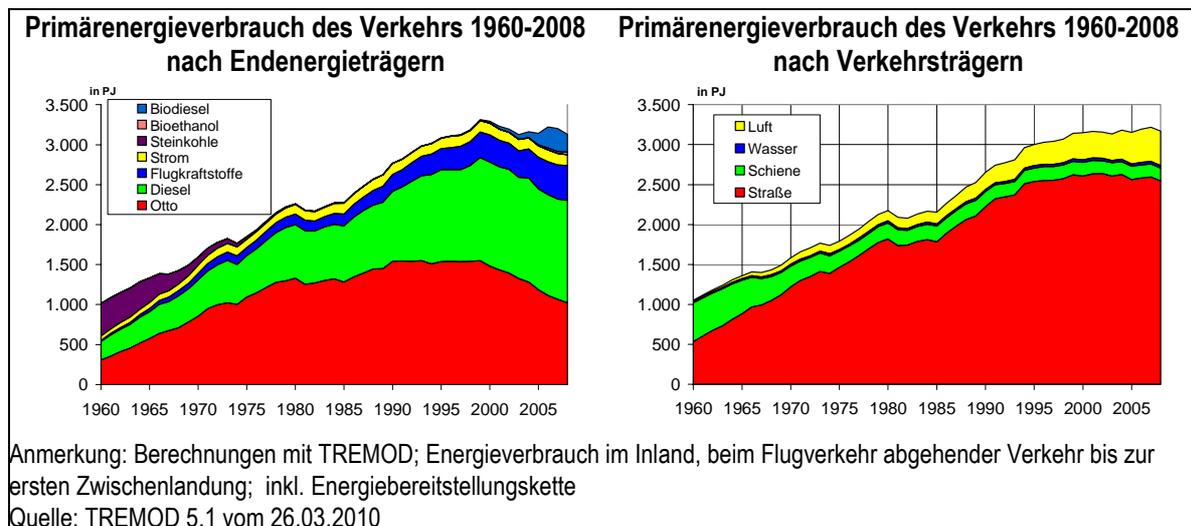


Abb. 17: Primärenergieverbrauch des Verkehrs in Deutschland 1960-2008

Gesamtemissionen alle Verkehrsträger

Die CO₂-Emissionen des Verkehrs folgen in etwa dem Primärenergieverbrauch. Durch den Einsatz kohlenstoff-ärmerer Energieträger war der Anstieg allerdings nicht so stark wie beim Energieverbrauch. Sie stiegen von 1960 bis 2000 auf das 2,6fache an (227 Mio. t) Bedingt durch die Einführung von Bio-kraftstoffen gingen die CO₂-Gesamtemissionen von 2000 bis 2008 um 2% zurück. 81% der CO₂-Emissionen kamen im Jahr 2008 aus dem Straßenverkehr.

Die NO_x-Emissionen des Verkehrs hatten ihren Höhepunkt im Jahr 1988 mit 1.546 kt und gehen seitdem zurück, hauptsächlich bedingt durch die

Verbesserungen im Straßenverkehr aufgrund der Abgasgesetzgebung. 2008 wurden mit 827 kt, 46% weniger emittiert als 1988. 76% der NO_x-Emissionen kamen im Jahr 2008 aus dem Straßenverkehr.

Deutlich zurückgegangen sind in den vergangenen Jahren die Schwefeldioxidemissionen. Sie kommen inzwischen fast ausschließlich aus dem Umwandlungssektor.

Andere Schadstoffe wie Partikel, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid kommen zu über 90% aus dem Straßenverkehr und sind ebenfalls deutlich zurückgegangen (siehe Abschnitt „Straßenverkehr“).

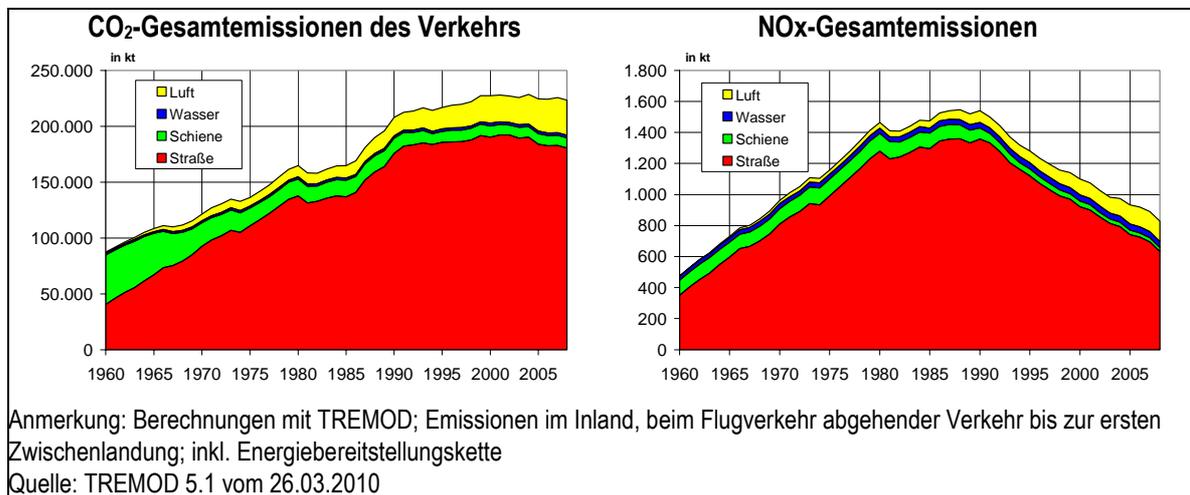


Abb. 18: CO₂- und NO_x-Emissionen des Verkehrs in Deutschland 1960-2008

Direkte Emissionen des Straßenverkehrs

Der Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs haben sich von 1960 bis 1999 mehr als vervierfacht. Und sind seitdem etwa konstant. Neben leichten Verbesserungen des spezifischen Energieverbrauchs ist die Entwicklung durch den nur noch geringen Anstieg der Verkehrsleistungen im Pkw-Verkehr verursacht.

Die NO_x-Emissionen haben sich von 1960 bis 1990 mehr als vervierfacht und sind seitdem als Folge der Abgasgesetzgebung rückläufig.

Die Dieselpartikelemissionen gehen seit dem Jahr 1995 mit der zunehmenden Einführung von abgasärmeren Euro-2 bzw. Euro-II - und neueren Fahrzeugen zurück, ab 2005 noch verstärkt durch die zunehmende Ausstattung von Fahrzeugen mit Partikelfiltern.

Die Kohlenmonoxidemissionen des Straßenverkehrs sind seit 1972 deutlich zurückgegangen und lagen im Jahr 2008 um 87% niedriger als 1972. Deutlich rückläufig sind auch die Kohlenwasserstoffemissionen, die von 1990 bis 2008 um 90% zurückgegangen sind.

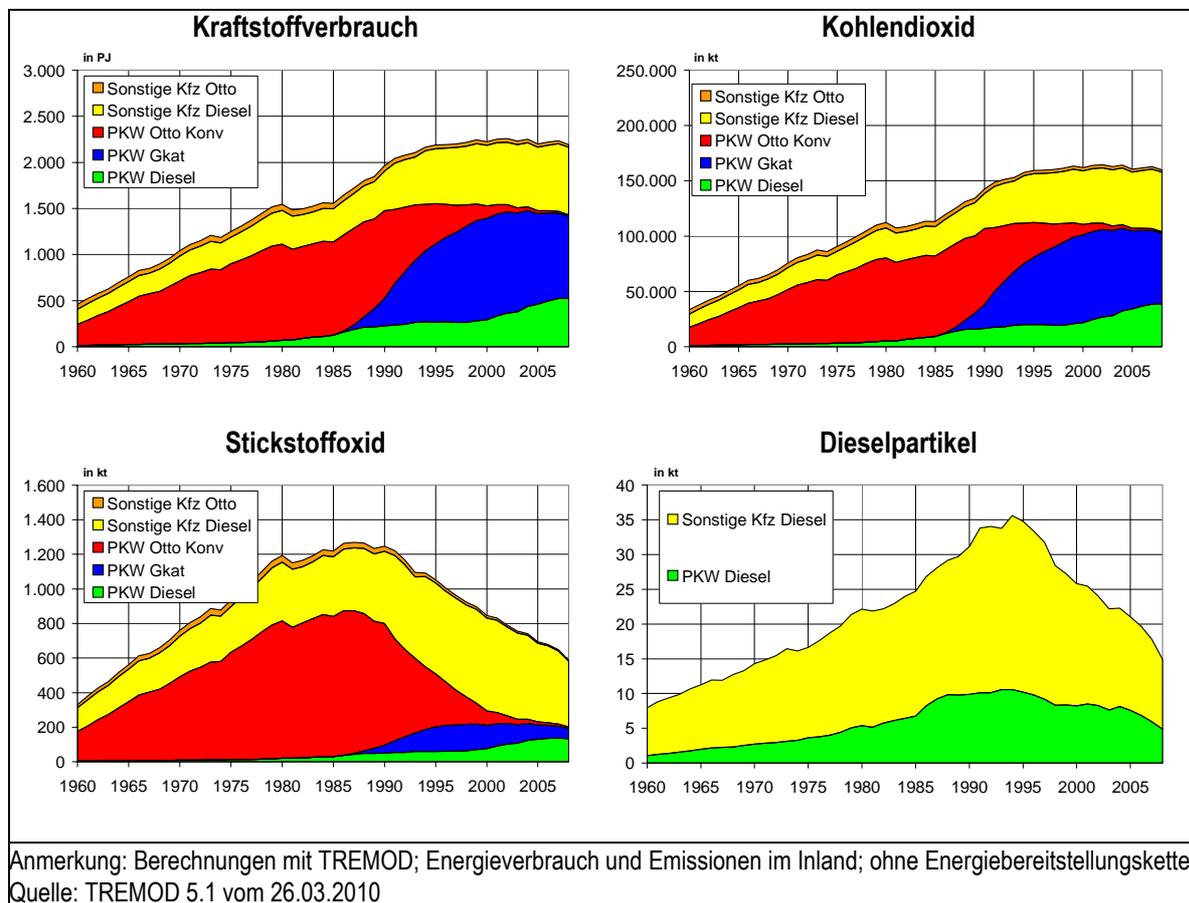


Abb. 19: CO₂- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland 1960-2008

Teil 3:
Trendszenario bis 2030

Definition des Trendszenarios

Zur Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklung des verkehrsbedingten Energieverbrauchs und der Emissionen wird in TREMOD ein Trendszenario bis zum Jahr 2030 definiert. Das Trendszenario soll auf aktuellen Verkehrsleistungsprognosen aufbauen und alle umweltrelevanten politischen Vorgaben, deren Umsetzung beschlossen sind, abbilden. Es sind alle wichtigen Beschlüsse berücksichtigt, die bis Mitte 2009 in Kraft getreten sind.

Das Szenario baut auf der Verkehrsleistungsentwicklung der aktuellen „Verkehrsprognose 2025“ des BMVBS auf [BMVBS 2007a]. Für die Fortschreibung von 2025 bis 2030 wurden eigene Annahmen festgelegt.

Die vorgegebenen Verkehrsleistungen müssen in TREMOD umgelegt werden auf Fahrleistungen und Betriebsleistungen mit den entsprechenden Anteilen der verschiedenen Fahrzeugkategorien und Traktionsarten. Es sind daher u.a. Annahmen zu treffen zur

- Entwicklung des Fahrzeugbestands nach Antriebsarten, Größenklassen, Emissionsstandards,
- Entwicklung der Fahrleistungsanteile nach Straßenkategorien.
- Entwicklung der Fahrzeugauslastung

Für die Emissionsberechnung sind schließlich Annahmen zur Entwicklung der Energieeffizienz und

des Emissionsverhaltens neuer Fahrzeugkonzepte sowie der zukünftige Anteil der Biokraftstoffe und anderer Energiearten festzulegen. Alle diese Annahmen wurden in einem gemeinsamen Abstimmungsprozess von BMU, UBA und IFEU festgelegt. Die getroffenen Annahmen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Prinzipiell startet die Szenarienberechnung mit dem Jahr 2009. Für die Jahre 2009 und 2010 sind jedoch z.T. Entwicklungen berücksichtigt, die bereits bis Mitte 2009 sichtbar wurden. Dies sind

- Die Auswirkung der Abwrackprämie auf die Anzahl und Zusammensetzung der Pkw-Neuzulassungen im Jahr 2009, die aufgrund der Zulassungsstatistik im ersten Halbjahr 2009 geschätzt wurde.
- Der Rückgang der Gütertransportleistungen im Straßen-, Eisenbahn- und Binnenschiffsverkehr im Jahr 2009 mit einem Prognosewert für 2010 nach dem „Prograns Verkehrskonjunktur-Report Deutschland 2009 / 2010“
- Entwicklung des Anteils an Biokraftstoffen im Jahr 2009 aufgrund der BAFA-Zahlen bis einschließlich August 2009

Sozio-ökonomische Annahmen

Die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen des Trendszenarios gehen nicht direkt in die TREMOD-Berechnung ein. Sie sind allerdings Bestandteil der zugrunde liegenden „Verkehrsprognose 2025“, deren Verkehrsleistungsannahmen Grundlage des TREMOD-Trendszenarios sind. Sie werden daher in diesem Abschnitt zusammenfassend dargestellt. Grundsätzlich geht die „Verkehrsprognose 2025“ von folgenden Prämissen aus:

- Geringer Rückgang der Gesamtbevölkerung, Anstieg des Durchschnittsalters.
- weitere stabile wirtschaftlichen Entwicklung
- moderate Kostensteigerungen der Transportpreise im Personenverkehr
- rückläufige Kosten im Güterverkehr
- bedarfsgerechter Ausbau der Verkehrsinfrastruktur
- keine allgemeinen dirigistischen Eingriffe in die freie Wahl der Verkehrsmittel

	2004	2025	Veränd. 2004-2025 (%)	
			p.a.	gesamt
Einwohner (Mio.)	82,501	81,662	0	-1
darunter im Alter von				
unter 18	14,829	12,407	-0,8	-16,3
18 und älter	67,672	69,255	+0,1	+2,3
18 bis unter 60	47,107	43,343	-0,4	-8
60 und älter	20,565	25,912	+1,1	+26
Schüler (Mio.)	11,782	9,573	-1	-18,8
Studenten (Mio.)	1,965	2,25	+0,6	+14,5
Auszubildende insg. (Mio.)	13,747	11,823	-0,7	-14
Erwerbstätige (Mio.)	38,875	39,149	0	+0,7
Haushalte (Mio.)	39,218	40,843	+0,2	+4,1
Bruttowertschöpfung (Mrd. Euro, in Pr. v. 1995)	1950,1	2787,6	+1,7	+42,9
Pkw-Bestand (Mio.)	45,376	51,059	+0,6	+12,5
Pkw-Dichte (Pkw pro 1000 Einwohner)	550	625	+0,6	+13,7
Pkw-Dichte (Pkw pro 1000 Einw. über 18 J.)	671	737	+0,5	+10
Preise und Kosten				
Nutzerkosten des MIV und ÖV			+1	+23
Transportpreise des Flugverkehrs			0	0
Transportkosten Güterverkehr je tkm:		keine Angabe		
- Straße, Schiene			-0,4	-8
- Binnenschifffahrt			-1,7	-30
Weitere generelle Annahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Verkehrsinfrastruktur: Alle Projekte des vordringlichen Bedarfs der BVWP 2003 werden realisiert - Bedarfsgerechter Ausbau der Kapazitäten bei Schienen- und Luftverkehr - Spürbare Fahrzeitverkürzungen im Eisenbahnverkehr (PV und GV) - Freie Wahl des Verkehrsmittels bleibt im Grundsatz erhalten (keine allgemeinen dirigistischen Eingriffe zur Verkehrssteuerung/ -verlagerung) - Erleichterung des Marktzutritts im öffentlichen Straßenpersonenverkehr - Keine durchgreifende Liberalisierung des Linienfernverkehrs auf der Straße - Mehr Wettbewerb im Eisenbahnregionalverkehr, weitestgehend Dominanz der DB AG im Schienenpersonenfernverkehr - Weitere Liberalisierung des Güterverkehrs 			
Anmerkungen: Pkw-Bestand und -dichte ohne Änderung der KBA-Statistik 2008 (d.h. incl. vorübergehend abgemeldeter Fahrzeuge)				
Quelle: Verkehrsprognose 2025 [BMVBS 2007] IFEU 2009				

Tab. 12: Sozio-ökonomische Randbedingungen der „Verkehrsprognose 2025“

Entwicklung der Verkehrsleistungen

Annahmen zur Verkehrsleistungsentwicklung in der „Verkehrsprognose 2025“

Nach der „Verkehrsprognose 2025“ steigen die Verkehrsleistungen des **Personenverkehrs** bis 2025 in allen Sektoren, außer dem Öffentlichen Straßenpersonenverkehr, an, am meisten im Luftverkehr. Im MIV, dem Sektor mit dem mit großem Abstand höchsten Anteil am Modal Split, liegt der Zuwachs bei 16%.

Beim **Güterverkehr** geht die „Verkehrsprognose 2025“ von einem deutlichen Zuwachs aus: Insgesamt sollen die Transportleistungen von 2004 bis 2025 im Straßengüterverkehr um 80%, im Schienenverkehr um 65% steigen.

PERSONENVERKEHR	Verkehrsleistung (Mrd. Pkm)		Modal Split		Änderung (%) 2004-2025
	2004	2025	2004	2025	
Motor.Individualverkehr	887,4	1029,7	81	79	+16
Eisenbahnverkehr	72,6	91,2	7	7	+26
ÖSPV	82,7	78,7	8	6	-5
Luftverkehr Territorialprinzip	48,7	103	5	8	+111
Summe Personenverkehr	1091,4	1302,6	100	100	+19
Luftverkehr Inlandsverkehr	9,3	14,5			+56
Luftverkehr Standortprinzip	158,4	351,6			+122
GÜTERVERKEHR	Transportleistung (Mrd. tkm)		Modal Split		Änderung (%) 2004-2025
	2004	2025	2004	2025	
Straßengüterverkehr	392,4	704,4	71	75	+80
Eisenbahnverkehr	91,9	151,9	17	16	+65
Binnenschifffahrt	63,7	80,2	12	9	+26
Luftverkehr Territorialprinzip	0,91	2,3	0,2	0,2	+155
Summe Güterverkehr	548,9	938,8	100	100	+71
Luftverkehr Inlandsverkehr	0,03	0,03			+12
Luftverkehr Standortprinzip	6,48	16,76			+159

Quelle: Verkehrsprognose 2025 [BMVBS 2007] IFEU 2009

Tab. 13: Entwicklung der Verkehrsleistungen in der „Verkehrsprognose 2025“

Annahmen zur Fahrleistungsentwicklung in der „Verkehrsprognose 2025“

Die **Fahrleistungen des Straßenverkehrs** werden in der „Verkehrsprognose 2025“ als Inländerfahrleistungen angegeben. Sie nehmen bei fast allen Fahrzeugkategorien zu, mit Ausnahme der Omnibusse.

- Der Pkw-Verkehr wächst zwischen 2004 und 2025 um knapp 14% an.
- Besonders stark wächst der Lkw-Verkehr mit einem Fahrleistungsanstieg bei den leichten Nutzfahrzeugen von knapp 30% und bei den schweren Nutzfahrzeugen von knapp 56%. Dies

ist deutlich weniger als der Verkehrsleistungsanstieg von 80%.

Im Vergleich mit TREMOD ist zu berücksichtigen, dass die Abgrenzung zwischen leichten und schweren Nutzfahrzeugen verschieden ist: In der „Verkehrsprognose 2025“ liegt die Grenze bei 3,5 Tonnen Nutzlast (entspricht etwa 6 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht), in TREMOD sind es 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht.

	Fahrleistung (Mrd. km)		Änderung (%) 2004-2025
	2004	2025	
Pkw	590,4	671,4	+13.7
MotorisierteZweiräder	17,0	19,7	+16.1
Omnibusse	3,6	3,4	-4,2
Lkw/Sattelzugmaschinen	72,8	101,7	+39.6
davon: schwereNutzfahrzeuge	28,8	44,8	+55.5
davon: leichteNutzfahrzeuge	44	56,9	+29.3
SonstigeKfz	12,6	16,8	+32.9
Insgesamt	696,4	813	+16.7
Anmerkungen: Schwere Nutzfahrzeuge >3,5t Nutzlast, leichte Nutzfahrzeuge >3,5t Nutzlast (abweichend von TREMOD)			
Quelle: Verkehrsprognose 2025 [BMVBS 2007]			

Tab. 14: Entwicklung der Inländerfahrleistungen des Straßenverkehrs in der „Verkehrsprognose 2025“

Annahmen zur Verkehrsleistungsentwicklung im TREMOD-Trendszenario bis 2030

Im TREMOD-Trendszenario werden die Eckdaten der Verkehrsleistungen aus der „Verkehrsprognose 2025“ mit wenigen Ausnahmen übernommen:

- Die Verkehrsleistung der Omnibusse wird in TREMOD aus der Fahrleistung mit Besetzungsgraden von 21% für Linienbusse und 60% für Reisebusse berechnet. Die so berechnete Verkehrsleistung ist höher als die für den ÖSPV ausgewiesene Verkehrsleistung der „Verkehrsprognose 2025“. Neben dem ÖSPV sind darin auch sonstige Busverkehre (privat, Werkverkehr) als Schätzwerte berücksichtigt.
- Die Verkehrsleistungen des Straßengüterverkehrs wurden in der Statistik [ViZ] inzwischen für 2004 gegenüber der „Verkehrsprognose 2025“ nach oben korrigiert. Daher wird in TREMOD die relative Änderung der Verkehrsleistungen von 2004 bis 2025 (+80%) verwendet.

Zusätzlich werden von 2025 bis zum Jahr 2030 folgende weitere Änderungsraten angenommen:

- MIV: +0,2% (Geringer Anstieg wegen Bevölkerungsrückgang).
- ÖSPV: keine Änderung.
- Eisenbahnpersonennahverkehr: +2%

- Eisenbahnpersonenfernverkehr: +4%

Bei den übrigen Verkehrsträgern erfolgt bis 2030 eine Fortschreibung des Trends vor 2025 mit folgenden Änderungsraten:

- Flugverkehr Inland: +1,7% pro Jahr
- Flugverkehr grenzüberschreitend: +4% pro Jahr
- Straßengüterverkehr: Fortsetzung des Trends vor 2025, d.h. +2,2% pro Jahr
- Eisenbahngüterverkehr: Fortsetzung des Trends vor 2025, d.h. +1,3% pro Jahr
- Binnenschiff: Fortsetzung des Trends vor 2025, d.h. +0,5% pro Jahr.

Im Jahr 2009 kam es aufgrund der Wirtschaftskrise zu einem Rückgang der Transportleistungen. Diese Entwicklung ist im Trendszenario berücksichtigt. Grundlage dafür ist der „Progtrans Verkehrskonjunktur-Report Deutschland 2009 / 2010“. Für den Straßengüterverkehr, den Eisenbahngüterverkehr und die Binnenschifffahrt wurden die Prognosewerte für 2009 und 2010 übernommen, alle folgenden Jahre wurden linear bis 2025 interpoliert.

Die angenommenen Entwicklungen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

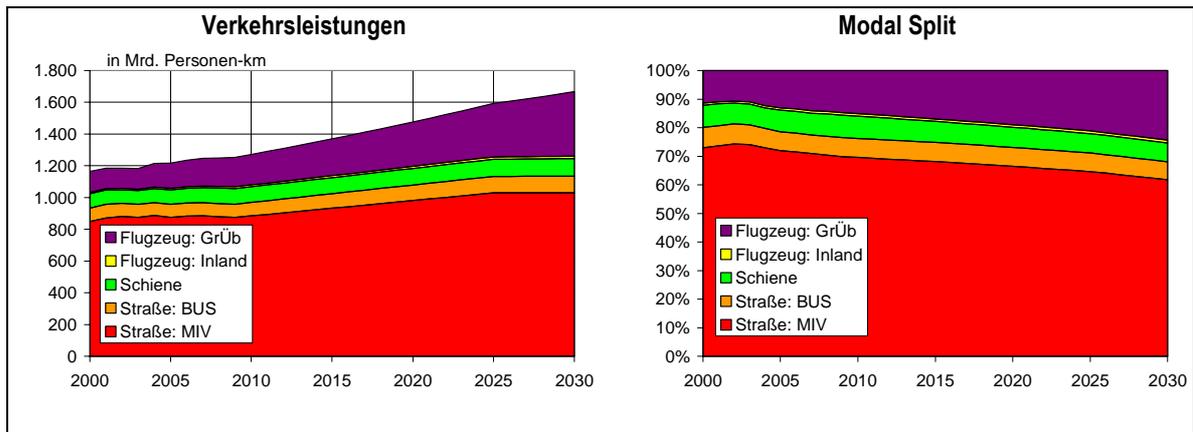
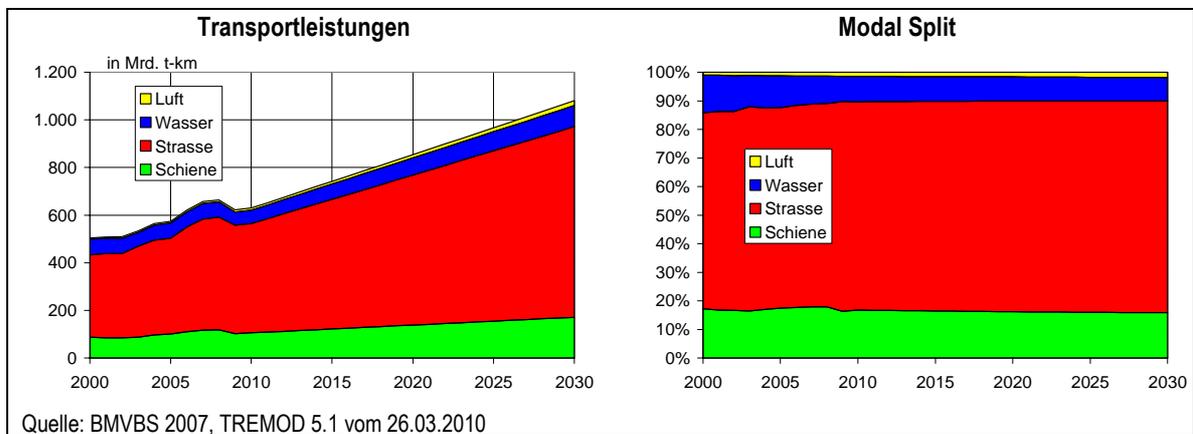


Abb. 20: Personenverkehrsleistung in Deutschland 2000-2030 in TREMOD nach Verkehrsträgern



Quelle: BMVBS 2007, TREMOD 5.1 vom 26.03.2010

Abb. 21: Gütertransportleistung in Deutschland 2000-2030 in TREMOD nach Verkehrsträgern

Fahrleistungen und Auslastung im Straßenverkehr

Entsprechend den prognostizierten Zuwächsen bei den Verkehrs- und Transportleistungen steigen die Fahrleistungen des Straßenverkehrs weiter an. Im MIV entspricht die Fahrleistungszunahme in etwa dem Verkehrsleistungswachstum.

Die Annahmen für den **motorisierten Individualverkehr** werden in TREMOD direkt aus der „Verkehrsprognose 2025“ übernommen. Abweichungen zwischen TREMOD und der „Verkehrsprognose 2025“ ergeben sich dadurch, dass TREMOD die Inlandsfahrleistung verwendet („Verkehrsprognose 2025“: Inländerfahrleistung) und dass die Änderung der KBA-Statistik ab 2006 in TREMOD berücksichtigt ist: Danach werden Wohnmobile und einige Pkw-ähnliche übrige Kfz (Krankswagen u.a. und deren zugehörige Fahrleistung) zu den Pkw gezählt statt wie vorher zu den sonstigen Kfz. Für die Entwicklung von 2025 bis 2030 wird für den MIV, wie bei den Ver-

kehrsleistungen, nur noch eine leichte Zunahme der Fahrleistungen angenommen.

Beim **Straßengüterverkehr** nehmen die Inländerfahrleistungen in der „Verkehrsprognose 2025“ zwischen 2004 und 2025 insgesamt um 40% zu (leichte und schwere Nutzfahrzeuge). In TREMOD wird diese Änderungsrate als Eckwert für die Entwicklung der Inlandsfahrleistungen übernommen und wie folgt den einzelnen Fahrzeuggruppen zugeordnet:

- *Leichte Nutzfahrzeuge*: +29%
(entspricht der Zunahme der leichten Nutzfahrzeuge der „Verkehrsprognose 2025“)
- *Lastzug+Sattelzug*: +56%
(entspricht der Zunahme der schweren Nutzfahrzeuge der „Verkehrsprognose 2025“)
- *Solo-Lkw*: +28%
(berechnet sich aus der Differenz zwischen den

Gesamtfahrleistungen und den Fahrleistungen der leichten Nutzfahrzeuge sowie der Last- und Sattelzüge)

- Bis 2030 werden die Fahrleistungen – wie auch die Transportleistungen, linear fortgeschrieben. Die Zunahme der Fahrleistungen ist demnach deutlich geringer als die Zunahme der Transportleistungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Grossteil der Transportleistungszunahme von Last-

und Sattelzügen erbracht wird. Hinzu kommt eine leichte Erhöhung der durchschnittlichen Auslastung je Fahrzeug. Diese steigt von 2008 bis 2025 um 2,6%.

Für die Entwicklung von 2025 bis 2030 werden die Fahrleistungen des Straßengüterverkehrs wie die Transportleistungen linear fortgeschrieben.

	Fahrleistung (Mrd. km)				Änderung (%)	
	2004	2008	2025	2030	2004-2025	2025-2030
Pkw	587,0	577,6	672,0	673,0	+14,5	+0,15
MotorisierteZweiräder	16,5	14,9	16,7	16,7	+1,4	+0,05
Omnibusse	4,0	3,8	3,8	3,8	0,0	0,0
SchwereNutzfahrzeuge	53,8	56,0	78,9	87,0	+46,6	+10,3
davon: Solo-Lkw	17,4	17,0	22,3	24,1	+27,9	+8,5
davon: Lkw mit Anhänger	13,0	12,5	20,2	22,9	+55,6	+13,3
davon: Sattelzüge	23,4	26,5	36,4	40,0	+55,6	+9,8
LeichteNutzfahrzeuge	35,9	37,9	46,4	49,3	+29,3	+6,3
SonstigeKfz	7,8	3,2	4,6	5,0	-41,2	+9,5
Insgesamt	704,9	693,5	822,4	834,9	+16,7	+1,5

Anmerkungen: Schwere Nutzfahrzeuge >3,5t zulässiges Gesamtgewicht, leichte Nutzfahrzeuge <=3,5t ; zulässiges Gesamtgewicht; ab 2006 zählen Wohnmobile, Krankenwagen u.a zu den Pkw; (in Verkehrsprognose 2025 noch nicht berücksichtigt); die Fahrleistungen der motorisierten Zweiräder wurden in der Statistik ab 2007 nach unten korrigiert [ViZ], daher 2025 abweichend von "Verkehrsprognose 2025"

Quelle: Verkehrsprognose 2025, eigene Annahmen IFEU 2009

Tab. 15: Entwicklung der Inlandsfahrleistungen in TREMOD bis 2030

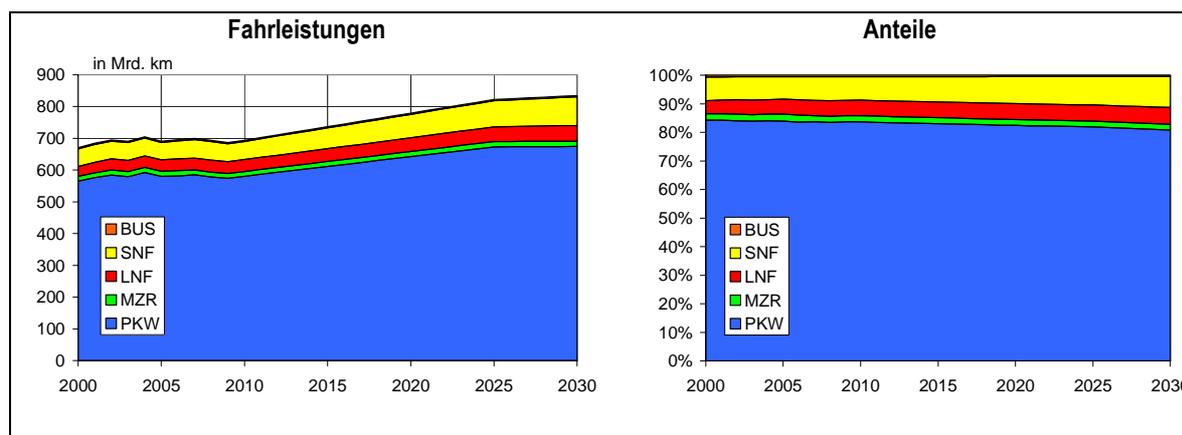


Abb. 22: Fahrleistung in Deutschland 2000-2030 nach Fahrzeugkategorie

Betriebsleistung und Auslastung im Schienenverkehr

Die **Auslastungsgrade** des Personen- und Güterverkehrs der DB AG nahm bis 2008 zu. Die DB AG geht davon aus, dass die Auslastung bis zum Jahr 2020 weiter zunehmen wird. Das Ziel ist für den Personennahverkehr eine Auslastung von 24% und für den Personenfernverkehr von 50% [DB 2005b], Diese Werte werden von uns angesetzt. Nach 2020 wird die Auslastung als konstant angenommen.

Bei den Anteilen der Betriebsarten Diesel- und Elektrotraktion wurde unterstellt, dass sich die Tendenz zur Zunahme des Anteils elektrisch betriebener Züge fortsetzt. Neben der Elektrifizierung bzw. des Neubaus weiterer Strecken spielt hierbei auch die Bündelung der Verkehrsleistungen auf den Haupt-

verkehrsstrecken eine Rolle. Die Anteile der Dieseltraktion an den Betriebsleistungen werden wie folgt angenommen:

Bereich	2008	2010	2020	2030
GV	4,2%	4,0%	3,2%	2,5%
PFV	2,3%	2,0%	2,0%	2,0%
PNV	18,2%	18%	16%	15%

Tab. 16: Entwicklung des Dieselanteils an den Betriebsleistungen im Güter-, Personenfern- und Personennahverkehr der DB

Entwicklung der Fahrzeugflotten im Straßenverkehr

Ableitung der Fahrzeugbestände im Straßenverkehr

Die Fortschreibung der Fahrzeugflotten wird in TREMOD mit Hilfe eines Umschichtungsmodells berechnet. Damit wird der zukünftige Bestand mit Hilfe von Annahmen zur Anzahl der jährlichen Neuzulassungen und Überlebenswahrscheinlichkeiten berechnet. Die Überlebenswahrscheinlichkeiten werden aus der aktuellen Fahrzeugstatistik abgeleitet.

Die Abschätzung der zukünftigen Bestandsentwicklung ist derzeit aus mehreren Gründen erschwert:

- Das KBA hat zum 1.1.2008 die Statistik umgestellt, die nun nicht mehr die vorübergehend abgemeldeten Fahrzeuge enthält. Dadurch sind die Statistiken mit den Vorjahren nicht mehr vergleichbar, insbesondere ist die Ableitung aktuel-

ler Überlebenswahrscheinlichkeiten damit unmöglich.

- Die Sondersituation im Jahr 2009 (Abwrackprämie führt zu einer Änderung der Bestandsstruktur, die modellmäßig nicht abgebildet werden kann. Reale Bestandsdaten, die diese Veränderungen abbilden, werden jedoch erst im Frühjahr 2010 vorliegen.

Es muss betont werden, dass die Ergebnisse des TREMOD-Umschichtungsmodells keine Bestandsprognosen sind. Dies ist auch nicht notwendig, da in TREMOD nicht die absolute zukünftige Höhe des Fahrzeugbestands für die Ergebnisse relevant sind sondern allein die Struktur des Bestands nach emissionsrelevanten Schichten.

Personenkraftwagen

Bei den Pkw wird angenommen, dass die Anzahl der jährlichen Neuzulassungen in etwa dem Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2008 entspricht, das sind 3,2 Mio. Fahrzeuge. Der Dieselanteil war in den vergangenen Jahren wieder rückläufig. Für die Berechnung wird von einem Dieselanteil von 45% ausgegangen. Bei Aufteilung nach Größenklassen wird gegenüber der Vergangenheit ein leichter Trend zu kleineren Fahrzeugen unterstellt. Für die drei Größenklassen (Otto und Diesel zusammen) wurden folgende Anteile angenommen:

- Kleine Klasse: 33% (Bandbreite 2000-2008: 23%-28%, erstes Halbjahr 2009: 46%)

- Mittlere Klasse: 51% (Bandbreite 2000-2008: 54%-57%, erstes Halbjahr 2009: 42%)
- Oberklasse: 16% (Bandbreite 2000-2008: 18%-22%, erstes Halbjahr 2009: 12%)

Berücksichtigt wurden im Szenario die deutlich höheren Neuzulassungen im Jahr 2009 aufgrund der Abwrackprämie als Abschätzung aufgrund der Zulassungszahlen im ersten Halbjahr..

Bei den Neuzulassungen werden zukünftig hauptsächlich Euro-5 und später Euro-6-Fahrzeuge zugelassen werden (naheres dazu im Kapitel „Entwicklung der spezifischen Emissionen“)

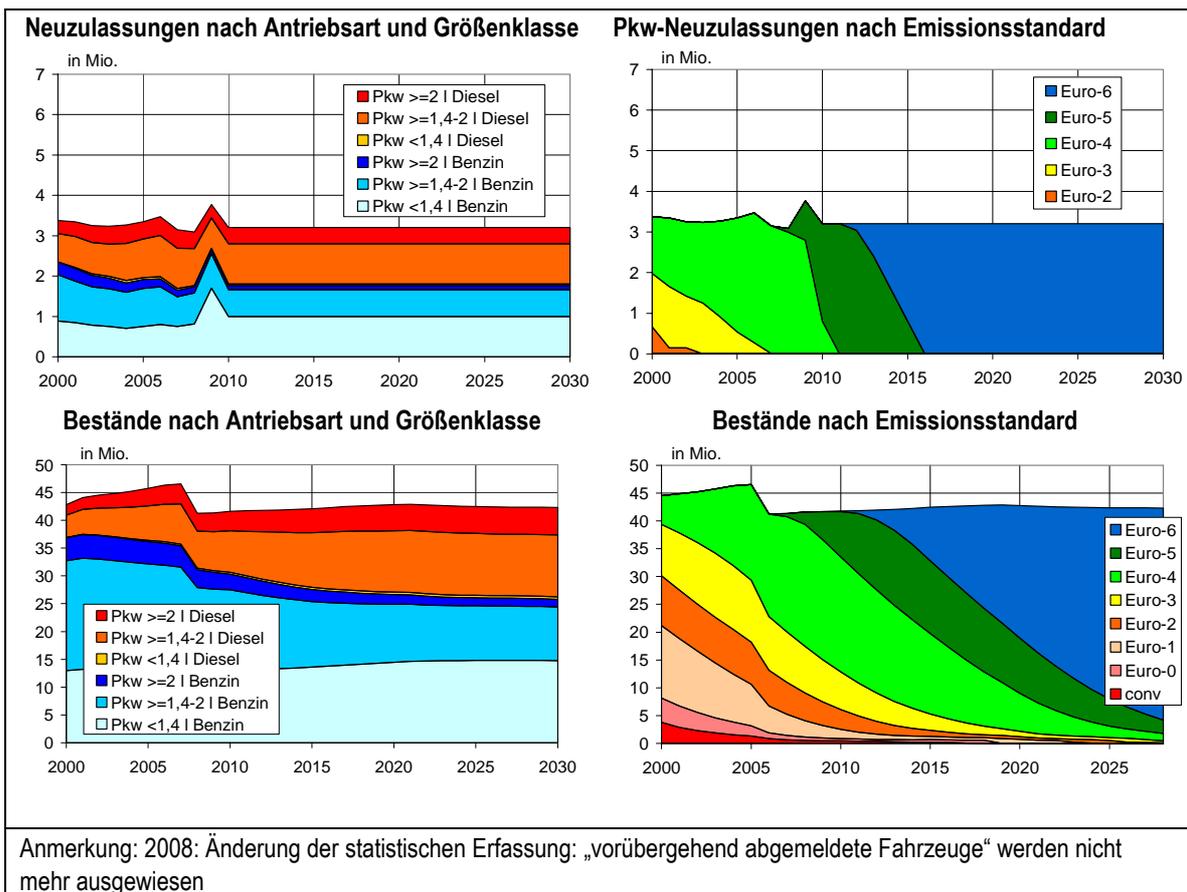


Abb. 23: Neuzulassungen und Bestände Pkw 2000 bis 2030

Motorisierte Zweiräder

Eine Vorhersage des Bestands an motorisierten Zweirädern ist auf Grund geänderter Zulassungsbestimmungen und der vorhandenen Struktur des Bestands mit sehr stark schwankenden Zulassungszahlen in der Vergangenheit, die sich in der inhomogenen Altersstruktur widerspiegelt, sehr schwer zu treffen. Wir gehen ab 2009 von einer jährlichen Zulassungsrate von 50.000 Kleinkrafträdern und rund 210.000 Krafträdern aus. Die Aufteilung nach

Größenklassen und Technologie (2-Takt, 4-Takt) wurden aufgrund der aktuellen Neuzulassungsanteile fortgeschrieben.

Die Annahmen für die Bestandsfortschreibung bei den motorisierten Zweirädern sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Annahmen zur Einführung neuer Eurostufen bei den Neuzulassungen sind im Kapitel „Entwicklung der spezifischen Emissionen“ dargestellt.

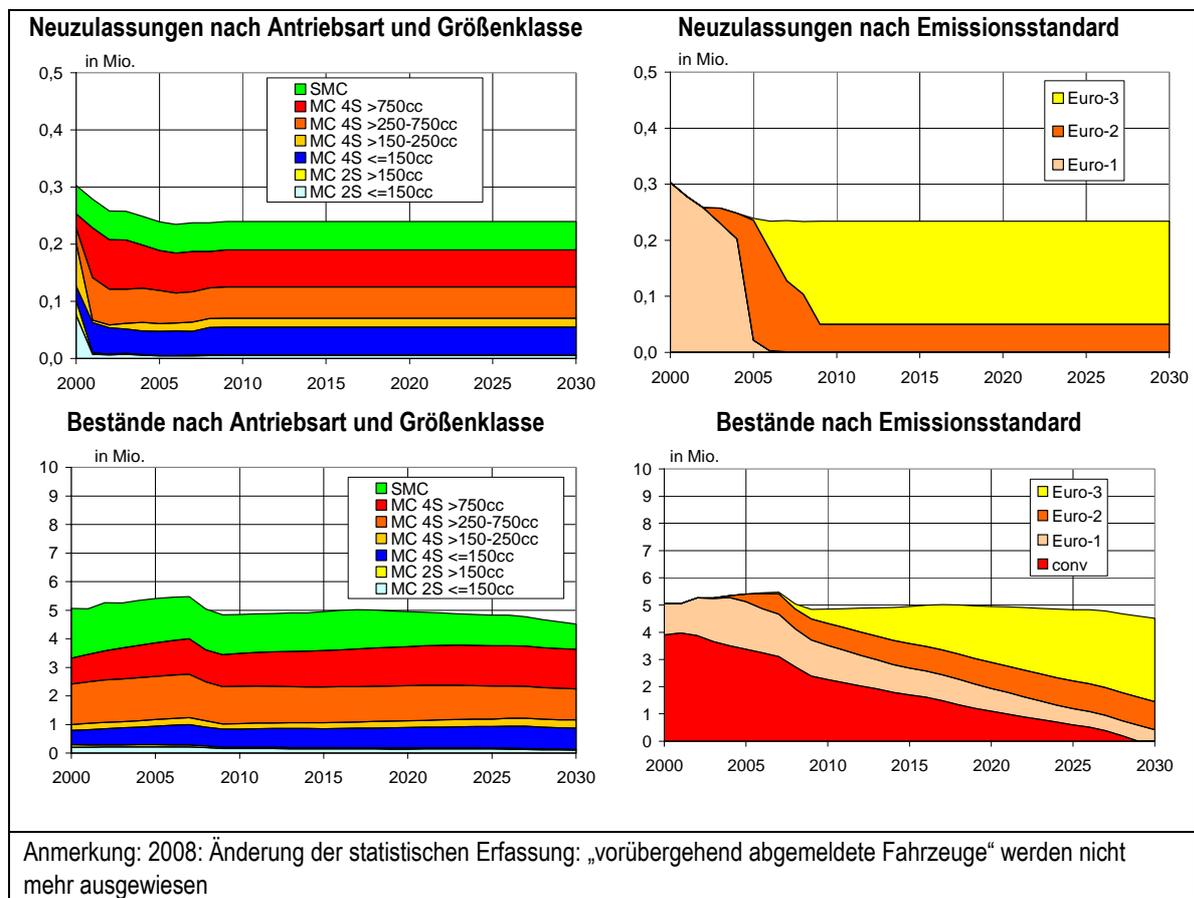


Abb. 24: Neuzulassungen und Bestände motorisierte Zweiräder 2000 bis 2030

Leichte Nutzfahrzeuge

Für die Fortschreibung der Bestände der Lkw <3,5 t wird ab 2009 eine jährliche Anzahl der Neuzulassungen von 170.000 Fahrzeugen, davon 96 % mit Dieselantrieb unterstellt.

Die Annahmen für die Bestandsfortschreibung bei den leichten Nutzfahrzeugen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Die Annahmen zur Einführung neuer Eurostufen bei den Neuzulassungen sind im Kapitel „Entwicklung der spezifischen Emissionen“ dargestellt.

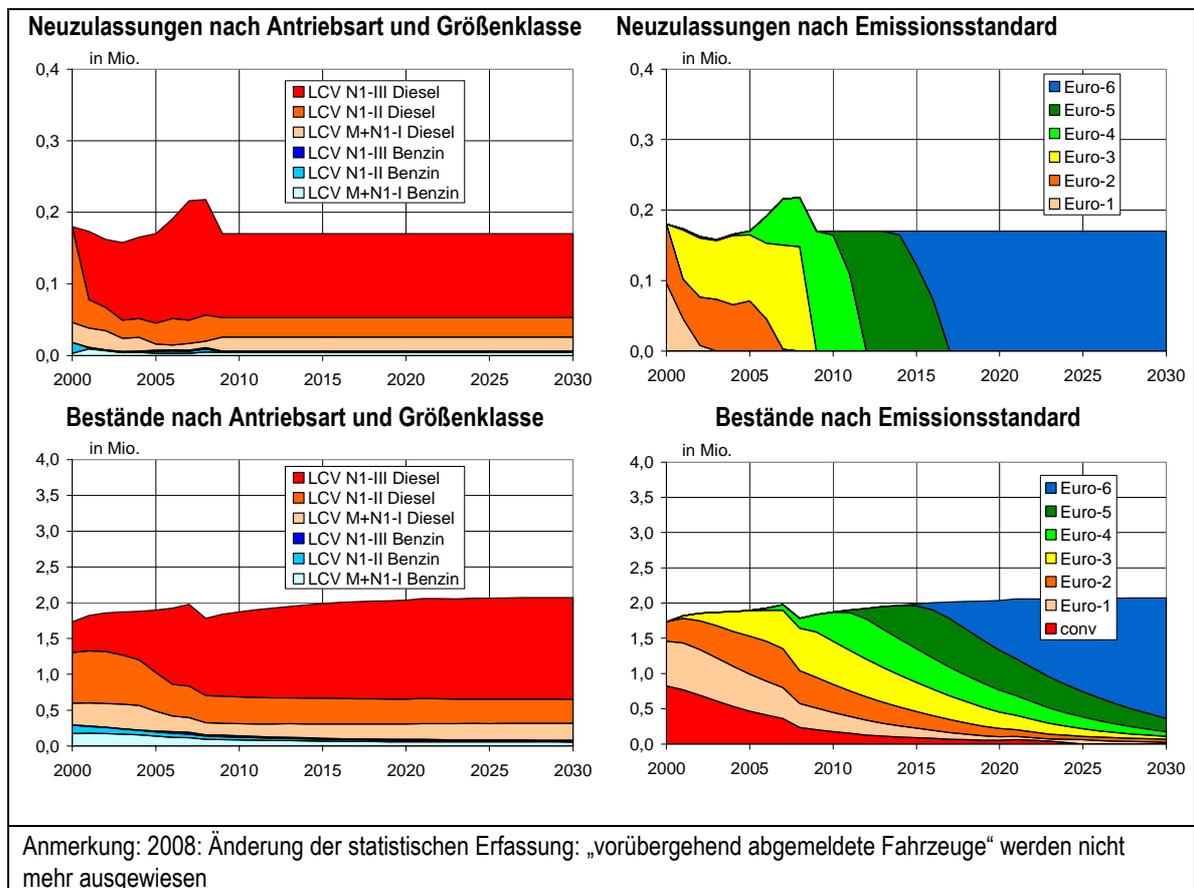


Abb. 25: Neuzulassungen und Bestände leichte Nutzfahrzeuge 2000 bis 2030

Schwere Nutzfahrzeuge

Zur Fortschreibung der Lkw-Bestände >3,5 t nehmen wir an, dass die Anzahl der Neuzulassungen ab 2009 konstant bei 55.000 Fahrzeugen liegt. Die Aufteilung nach Größenklassen und die Zuordnung auf Solo-Lkw und Lastzüge werden entsprechend dem aktuellen Trend angenommen.

Bei den Sattelzugmaschinen unterstellen wir ab 2009 eine jährliche Zulassung von 30.000 Fahrzeugen.

gen. Die Annahmen für die Bestandsfortschreibung - bei den schweren Nutzfahrzeugen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. -

Die Annahmen zur Einführung neuer Eurostufen bei den Neuzulassungen sind im Kapitel „Entwicklung - der spezifischen Emissionen“ dargestellt. -

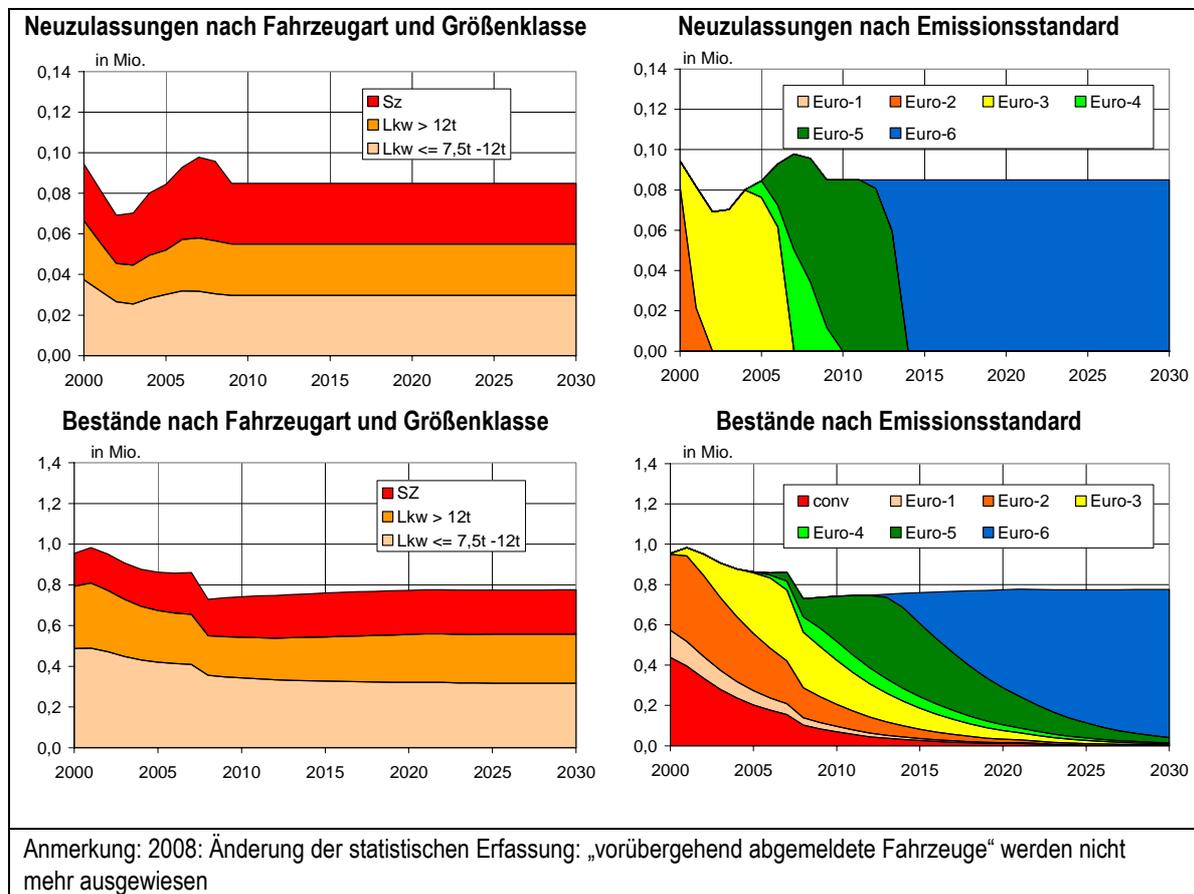


Abb. 26: Neuzulassungen und Bestände schwere Nutzfahrzeuge 2000 bis 2030

Busse

Die Fortschreibung der Bestände der Linien- und Reisebusse folgt den Zulassungszahlen des Jahres 2008: Wir unterstellen eine konstante Zulassungsrate von 1.553 Reisebussen und 4.333 Linienbussen ab 2009.

Die Annahmen für die Bestandsfortschreibung bei den Bussen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Die Annahmen zur Einführung neuer Eurostufen bei den Neuzulassungen sind im Kapitel „Entwicklung der spezifischen Emissionen“ dargestellt.

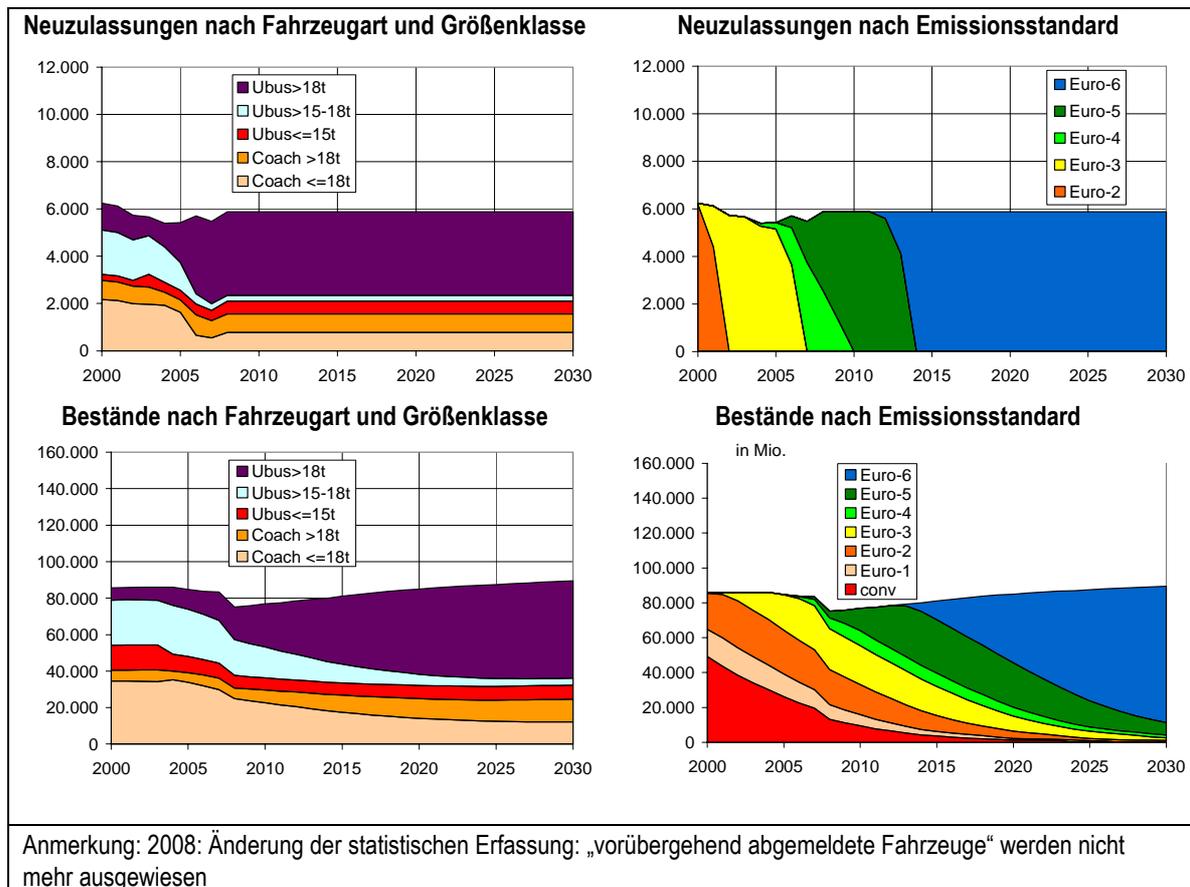


Abb. 27: Neuzulassungen und Bestände Busse 2000 bis 2030

Schienerverkehr, Binnenschifffahrt und Flugverkehr

Für die übrigen Verkehrsträger werden keine expliziten Annahmen zur Entwicklung der Fahrzeugflotte getroffen, da deren Berechnung alleine über Verkehrs- und Betriebsleistungsdaten erfolgt. Fortschritte in der Energieeffizienz und im Emissionsverhalten werden daher über die Verbrauchs- und Emissions-

faktoren für die Durchschnittsflotte eines bestimmten Bezugsjahrs abgeschätzt. Die entsprechenden Annahmen sind daher in den Kapiteln „Entwicklung der Energieeffizienz“ und „Entwicklung der spezifischen Emissionen“ dargestellt.

Entwicklung der Anteile der Energieträger

Im Trendszenario wird davon ausgegangen, dass sich die Art der verwendeten Antriebsenergien nicht wesentlich ändert. Diesel- und Otto-Kraftstoff sowie Kerosin bleiben somit die dominierenden Antriebsenergien, Strom wird nur im Schienenverkehr verwendet. Zwar ist wahrscheinlich, dass sich bis 2030 der Anteil der Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr deutlich erhöhen wird. Allerdings ist im Augenblick nicht absehbar, ob und in welcher Höhe Elektrofahrzeuge einen relevanten Anteil an der Fahrleistung haben werden. Offen ist zur Zeit auch noch, welche

Vorkettenemissionen diese Fahrzeuge haben werden (siehe Kapitel „Gesamte Energiekette“) Daher werden Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr bisher noch nicht betrachtet.

Weitere Antriebsenergien wie LPG und CNG spielen wahrscheinlich weiterhin nur eine geringe Rolle und werden im Trendszenario nicht berücksichtigt.

Berücksichtigt werden die Biokraftstoffe, die vom Biokraftstoffquotengesetz vorgeschrieben werden. Im wesentlichen handelt es sich hierbei um die Beimischung von Biodiesel bzw. Ethanol.

Konventionelle Kraftstoffe

Bei den konventionellen Kraftstoffen steigt der Dieselanteil bis zum Jahr 2030 deutlich an. Gründe dafür sind:

- Der zunehmende Anteil der Diesel-Pkw an der gesamten Pkw-Fahrleistung.
- Der Fahrleistungszuwachs bei den schweren Nutzfahrzeugen.

- Höhere spezifische Kraftstoffminderungen bei den Pkw als bei den schweren Nutzfahrzeugen. Die hohen Zuwachsraten im Flugverkehr sorgen auch für einen Anstieg des Kerosinverbrauchs. Dies führt dazu dass im Trendszenario der Energieverbrauch der konventionellen Kraftstoffe im Verkehrsbereich weiter ansteigt. Die konkrete Entwicklung ist im Ergebnisteil näher erläutert.

Biokraftstoffe

Für die zukünftige Entwicklung des Anteils der Biokraftstoffe im Verkehr werden die bis Mitte 2009 beschlossenen gesetzlichen Regelungen zugrunde gelegt. Dies sind

- das modifizierte Biokraftstoffquotengesetz (beschlossen am 19.06.2009), das die Mindestanteile für Biokraftstoffe (energetisch) bis 2014 festlegt,
- die Dekarbonisierungsstrategie, die ab 2015 Mindestanforderungen an die Minderung der Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von Biokraftstoffen festlegt,
- die Nachhaltigkeitskriterien, die vorschreiben, dass Biokraftstoffe gegenüber konventionellen Kraftstoffen eine konkrete Reduzierung der Treibhausgase bewirken.

Die folgenden Tabellen zeigen, die geforderten Kennwerte der verschiedenen gesetzlichen Anforderungen.

Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen (Änderung des Biokraftstoffquotengesetz)				
Mindestquote [%]	2007	2008	2009	2010-2014
Biodiesel an Diesel	4.4	4.4	4.4	4.4
Ethanol an Benzin	1.2	2.0	2.8	2.8
Gesamt			5,25	6,25

Quelle: Deutscher Bundestag, Drucksache 16/11131 vom 01. Dezember 2008

Dekarbonisierungsstrategie			
Der Biokraftstoffanteil am gesamten Kraftstoff muss mindestens so hoch sein, dass der THG-Anteil [kg-CO ₂ -Äquiv./GJ] des gesamten Kraftstoffes um mindestens folgende Raten reduziert wird :			
Minderung THG (%)	2015-2016	2017-2019	ab 2020
Alle Kraftstoffe	-3	-4,5	-7

Quelle: Deutscher Bundestag, Drucksache 16/11131 vom 01. Dezember 2008

Nachhaltigkeitskriterien			
Biokraftstoffe werden nur auf die Quote angerechnet, wenn er gegenüber dem zu ersetzenden fossilen Kraftstoff mindestens folgende Reduzierung der THG-Emissionen bewirkt:			
Minderung THG (%) gegenüber konv. Kr.	2011-2016	2017	ab 2018
Jeder Kraftstoff	-35	-50	-60
Quelle: Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare Energien), Artikel 17, Absatz 2			

Diese Vorgaben werden im Trendszenario wie folgt umgesetzt:

- Im Jahr 2008 lag der Anteil der Beimischung beim Dieselmotorkraftstoff bei 4,7%, bei Ottomotorkraftstoff bei 2%. Diese Anteile erfüllten die Mindestquoten. Die Tendenz für 2009 zeigt weiter deutlich steigende Anteile.

- Der Anteil der reinen Biokraftstoffe, v.a. Biodiesel und Pflanzenöl, geht seit 2008 deutlich zurück und wird voraussichtlich 2009 bereits unter 1% liegen. Sie werden daher im Trendszenario nicht berücksichtigt.
- Für 2010 wird der Anteil von Biodiesel am Dieselmotorkraftstoff mit 7% angenommen, danach wird ein linearer Anstieg bis 2020 auf 13 % unterstellt. Für Ethanol wird 2010 ein Anteil von 4% am Ottomotorkraftstoff geschätzt, der bis 2020 linear auf 10% ansteigt.
- Der THG-Vorteil der Biokraftstoffe gegenüber konventionellen Kraftstoffen steigt von 50% im Jahr 2008 auf 60% im Jahr 2018 und danach. Mit diesen Annahmen kann die geforderte Gesamtquote bzw. die Minderungen nach der Dekarbonisierungsstrategie erreicht werden.

Strom

Im Trendszenario wird Strom weiterhin nur im Schienenverkehr verwendet. Der Stromverbrauch geht dabei zwischen 2008 und 2030 trotz zunehmender Verkehrsleistungen leicht zurück. Entscheidend für die zukünftige Entwicklung der Emissionen

aus dem Schienenverkehr ist der zukünftige Energiemix der Stromerzeugung, der aber derzeit nicht vorhergesehen werden kann (siehe folgender Abschnitt).

Gesamte Energiekette (WTW-Betrachtung)

Derzeit ist es sehr unsicher, wie sich die Produktion der Kraftstoffe und des Stromes zukünftig entwickeln wird (Stichwort Atomausstieg, Umstieg auf erneuerbare Energien, etc.). Insbesondere bei Biokraftstoffen unterscheiden sich die energetischen Aufwendungen und Emissionen und hier vor allem die Klimagase sehr deutlich voneinander. Ein entsprechendes Trendszenario für die Vorketten, das verwendet werden könnte, liegt uns nicht vor. Auch für den Atomausstieg, der der aktuellen Gesetzeslage entspricht, liegt uns kein geeigneter Datensatz vor.

Anforderungen an die zukünftige Entwicklung der Kraftstoffe sind das Kraftstoffquotengesetz, die Nachhaltigkeitskriterien und die Dekarbonisierungsstrategie (siehe Abschnitt „Biokraftstoffe“). Das Kraftstoffquotengesetz wird im Trendszenario berücksich-

tigt (siehe Abschnitt „Biokraftstoffe“). Die Nachhaltigkeitskriterien werden berücksichtigt.

Insgesamt werden folgende Annahmen getroffen.

- Bahnstromerzeugung: keine Änderung der Emissionsfaktoren gegenüber 2008
- Konventionelle Kraftstoffe: wie bisher leichter Anstieg der Emissionsfaktoren
- Biokraftstoffe: wie konventionelle Kraftstoffe mit Ausnahme CO₂. Die CO₂-Emissionsfaktoren wird so angesetzt, dass die CO₂-Gesamtemissionen der Biokraftstoffe ab 2018 60% (vorher: 50%) unter denen der konventionellen Kraftstoffe liegen.

Die Minderung der Treibhausgase wird somit in TREMOD allein über die Änderung der CO₂-Emissionen abgebildet.

Entwicklung der Energieeffizienz

Die Verbesserung der Energieeffizienz der Fahrzeuge ist eine wichtige Randbedingung zur Reduzierung der verkehrsbedingten Kohlendioxidemissionen. Initiativen der europäischen Automobilindustrie (Selbstverpflichtungserklärung zur Absenkung der spezifischen CO₂-Emissionen der Pkw bis 2009) brachten nicht den gewünschten Erfolg. Die EU beschloss daraufhin gesetzliche Regelungen für neu zugelassene Pkw (EU-RL 443/2009). Ähnliche Regelungen für leichte Nutzfahrzeuge sind in der konkre-

ten Umsetzungsphase. Für die übrigen Fahrzeugkategorien und die anderen Verkehrsträger gibt es bisher keine gesetzlichen Bestimmungen zur Reduzierung des fahrzeugseitigen Energieverbrauchs. Es gibt allerdings Minderungsziele großer Unternehmen, z.B. der DB AG, die sich zu bestimmten Minderungszielen verpflichtet haben. Diese beinhalten in der Regel nicht nur reine fahrzeugtechnische Maßnahmen.

Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Die 2009 beschlossenen Grenzwerte sehen vor, dass zwischen 2012 und 2015 schrittweise ein Grenzwert von 120 g CO₂/km eingeführt wird („Phase-in“). Aufgrund des „integrierten Ansatzes“ müssen fahrzeugseitig nur 130 Gramm erreicht werden. Im Jahr 2020 ist ein Grenzwert von 95 g CO₂/km einzuhalten.

Die Grenzwerte werden gestuft nach Fahrzeugmasse, wobei die oben genannten Werte von den Herstellern im Mittel eingehalten werden müssen. Bei Nichteinhaltung der Grenzwerte sind von den Herstellern Strafzahlungen zu leisten. Das Umweltbundesamt hat eine Abschätzung für die Entwicklung des Flottenverbrauchs der Pkw-Neuzulassungen erarbeitet, die von folgenden Grundsätzen ausgeht:

- Die Richtlinie 443/2009 wird vollständig umgesetzt.
- Die Emissionen der in Deutschland zugelassenen Pkw liegen wie bisher über dem EU-Durchschnitt (+ 10 g/km).
- Aus der Gewichtszunahme der Pkw resultieren weitere 3 g/km Mehremissionen.

Zusammenfassend werden für die neuzugelassenen Pkw die folgenden Annahmen getroffen:

Jahre	Jährl. Mind.	g CO ₂ /km
2008-2009	-6,8%	152
2010-2015	-1,5%	141
2016-2020	-5,2%	108
2020-2030	-1,8%	95

Anm.: CO₂-Wert am Ende der Periode
Quelle: 2008-2009: Trend im Juli 2009, danach UBA-Annahmen, Februar 2010

Diese Entwicklung wird in TREMOD zugrunde gelegt.

Da die spezifischen Verbrauchswerte in TREMOD weiter differenziert werden nach Antriebsarten und Größenklassen und nach Innerorts und Außerorts, wurden von IFEU zusätzliche Annahmen auf Basis von [WI-DLR-IFEU 2005a] zur Entwicklung in den einzelnen Segmenten getroffen, die folgende Relationen bei den Minderungsraten abbilden (Lesebeispiel: Minderung innerorts ist größer als außerorts):

Innerorts > Außerorts

Otto-Pkw > Diesel-Pkw

Große Fahrzeuge > kleine Fahrzeuge

Für die leichten Nutzfahrzeuge werden derzeit Grenzwerte für den Kraftstoffverbrauch diskutiert. Da diese Grenzwerte noch nicht beschlossen sind, werden in TREMOD weniger ambitionierte Abnahmen wie bei den Pkw angenommen (-1,5%/Jahr bis 2030).

Busse und Lkw

Für schwere Nutzfahrzeuge gibt es bisher keine gesetzlichen Regelungen zur Absenkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs. Da die anspruchsvollen Abgas-Grenzwerte der Stufe Euro-VI vermutlich keine Spielräume für eine Absenkung des spezifischen Energieverbrauchs lassen, wird im Trendszenario

angenommen, dass der spezifische Kraftstoffverbrauch der schweren Nutzfahrzeuge bis 2013 unverändert bleibt. Bis 2020 wird eine Minderung von -8%, bis 2030 von insgesamt -20% angenommen.

Schienerverkehr

Durch die Einführung neuer Fahrzeuge (z.B: ICE 3, moderne Triebwagen im Personennahverkehr) wurden im Schienenverkehr in den vergangenen Jahren Effizienzverbesserungen erreicht, v.a. durch Gewichtseinsparung und Rückspeisung. Es wird angenommen, dass diese weiterhin realisiert werden können, Wir übernehmen daher für die Elektrotraktion die Einschätzung des Bahn-Umwelt-Zentrums [DB AG 2007a], wonach sich der Energieverbrauch je Triebfahrzeugkilometer beim Personenverkehr um 20% gegenüber 2005 verringern könnte. Beim Güterverkehr wird eine 20%ige Minderung insgesamt (Fahrzeuge, Betrieb und Auslastung) erreicht. Bei Dieselfahrzeugen ist die Minderung geringer.

Diese Vorgaben werden für das Trendszenario wie folgt übernommen:

- Absenkung des spezifischen Energieverbrauchs je Platz-km bei der Elektrotraktion um 20% bis 2030 gegenüber 2008, 10% bei der Dieseltraktion
- Im Güterverkehr Minderung des spezifischen Energieverbrauchs je Tonnenkilometer von 2008 bis 2030 bei der Elektrotraktion um 20%, bei der Dieseltraktion um 10%. Dies wird modelliert durch Absenkung des spezifischen Energieverbrauchs je angebotenen Tonnenkilometer bei unveränderter Auslastung.

Binnenschifffahrt

Aufgrund der schlechten Informationslage wird für Binnenschiffe insgesamt ein Verbrauchsrückgang

von -5% bis 2030 bezogen auf die Verkehrsleistung angenommen.

Flugverkehr

Für den Flugverkehr wurde vom Umweltbundesamt eine Verminderung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von 1% pro Jahr bis 2030 bezogen auf die Betriebsleistung (angebotene Nutzlast) angesetzt [UBA 2004a], Dies gilt für alle Verkehrsformen und Verkehrsbeziehungen, Die Passagiergewichte und der Gewichtungsfaktor für den Personenverkehr ge-

genüber dem Frachtverkehr werden gegenüber dem Analysezeitraum nicht verändert.

Der nutzlastbezogene spezifische Energieverbrauch des Luftverkehrs sinkt damit von 2008 bis 2030 um insgesamt 20%.

Entwicklung der spezifischen Emissionen

Abgasgesetzgebung Straßenverkehr

Die zukünftige Entwicklung der gesetzlich limitierten - Emissionen wird aufgrund der bis Mitte 2009 beschlossenen Grenzwerte abgeleitet. Insbesondere die Euro-6 bzw. Euro-VI-Werte erfordern hohe Minderungen bei den NOx und Partikel-Emissionen der Diesel Kfz. Konkret verlangen die - Grenzwerte folgende Absenkungen: -

- Diesel-Pkw und LNF: Absenkung der Partikelmasse auf 5 mg/km bei Euro-5 und Euro-6; Reduktion der NOx-Emissionen um 20% (Euro-5) bzw. 68% (Euro-6) gegenüber Euro-4.
- SNF Euro-VI: Reduktion der Partikelmasse um 60% gegenüber Euro-V; Reduktion der NOx-Emissionen um 80% gegenüber Euro-V.

Im Trendszenario wird angenommen, dass die neuen Fahrzeuge die Grenzwerte einhalten und dass

sich die Minderungen im realen Fahrbetrieb realisieren.

	Einführungsdatum (neue Typen/ alle Fahrzeuge)	
	Euro-5	Euro-6
PKW	09.09 / 01.11	09.14 / 01.15
LNF -<1305 kg (N1-I)	09.09 / 01.11	09.14 / 09.15
>= 1305 kg (N1-II+III)	09.10 / 09.11	09.15 / 09.16
	Euro-V	Euro-VI
SNF	10.08 / 10.09	01.13 / 01.14
Quelle: BMU, Umweltbundesamt		

Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei Pkw

Im ersten Halbjahr 2009 waren 17% der neu zugelassenen Otto-Pkw und 35% der Diesel-Pkw Euro-5-Fahrzeuge (Quelle: KBA). Der Jahresmittelwert wird auf 20% / 40% geschätzt. In 2010 wird der Anteil der Euro-5-Fahrzeuge auf 75% (O+D) geschätzt, ab 2011 100%.

Die Einführung von Euro-6-Pkw beginnt im Jahr 2012 und steigt bis 2016 auf einen Anteil von 100%. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Fahrzeuge aufgrund der steuerlichen Bevorzugung früher in den Markt kommen als der Grenzwert erfordert. Die Annahmen wurden von BMU und UBA für die Berechnungen im Trendszenario festgelegt.

PKW Otto und Diesel Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro-4	Euro-5	Euro-6
2008	98% / 95%	2% / 5%	
2009	80% / 60%	20% / 40%	
2010	25%	75%	
2011		100%	
2012		95%	5%
2013		75%	25%
2014		50%	50%
2015		25%	75%
2016			100%
Anmerkungen: 2008 Realwerte Otto / Diesel; Anteil Euro-5 1. Halbjahr 2009: 17% / 35%			

Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei leichten Nutzfahrzeugen

Laut KBA-Statistik gab es bei den LNF in der Vergangenheit keine bzw. nur geringe Anzahl an vor Inkrafttreten des Grenzwerts eingeführten Fahrzeugen. Daher erfolgt die Einführung der Fahrzeuge

entsprechend der neuen Grenzwerte im Trendszenario mit den gesetzlichen Einführungssterminen.

Leichte Nutzfahrzeuge N1-I Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro-4	Euro-5	Euro-6
2009	100%		
2010	75%	25%	
2011		100%	
2012		100%	
2013		100%	
2014		75%	25%
2015		50%	50%
2016			100%

Leichte Nutzfahrzeuge N1-II und N1-III Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro-4	Euro-5	Euro-6
2009	100%		
2010	100%		
2011	75%	25%	
2012f.		100%	
2014		100%	
2015		75%	25%
2016		50%	50%
2017			100%

Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei schweren Nutzfahrzeugen

Laut KBA-Statistik erfüllen schwere Nutzfahrzeuge, die vorzugsweise im Fernverkehr eingesetzt werden, in der Regel vorzeitig neue Grenzwerte, da sie z.B. Kostenvorteile bei der Lkw-Maut haben. Dies lässt sich z.B. bei den Euro-V-Fahrzeugen beobachten: Im Jahr 2008 erfüllten im Jahr 2008 schon 80% der Lkw über 12 Tonnen und Sattelzugmaschinen die Euro-V-Norm, bei den Lkw unter 12 Tonnen waren es erst 31%.

Da eine finanzielle Bevorzugung von großen Euro-VI-Fahrzeugen derzeit nicht absehbar ist, wird der Einführungszeitraum bei allen Größenklassen gleich angenommen. Die Annahmen im Trendszenario gehen von gegenüber den gesetzlichen Terminen einer leicht vorgezogenen Einführung aus.

LKW, Lastzug, Sattelzug <12t Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro IV	Euro-V	Euro-VI
2008	69%	31%	
2009	30%	70%	
2010		100%	
2011		100%	
2012		95%	5%
2013		70%	30%
2014			100%
2015			100%

LKW, Lastzug, Sattelzug >12t Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro IV	Euro-V	Euro-VI
2008	20%	80%	
2009	5%	95%	
2010		100%	
2011		100%	
2012		95%	5%
2013		70%	30%
2014			100%
2015			100%

Einführungszeiträume der neuen Grenzwerte bei Bussen

Laut KBA-Statistik erfüllen Linienbusse in der Regel vorzeitig neue Grenzwerte. Dies lässt sich z.B. bei den Euro-V-Fahrzeugen beobachten: Im Jahr 2008 erfüllten schon 69% der neu zugelassenen Linienbusse die Euro-V-Norm, bei den Reisebussen waren es erst 22%.

Da eine finanzielle Bevorzugung von großen Euro-VI-Fahrzeugen derzeit nicht absehbar ist, wird der Einführungszeitraum bei allen Größenklassen gleich angenommen. Die Annahmen im Trendszenario gehen von gegenüber den gesetzlichen Terminen einer leicht vorgezogenen Einführung aus.

Reisebus Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro IV	Euro-V	Euro-VI
2008	78%	22%	
2009	50%	50%	
2010		100%	
2011		100%	
2012		95%	5%
2013		70%	30%
2014			100%
2015			100%

Linienbus Anteil an den Neuzulassungen			
	Euro IV	Euro-V	Euro-VI
2008	31%	69	
2009	10%	90%	
2010		100%	
2011		100%	
2012		95%	5%
2013		70%	30%
2014			100%
2015			100%

Motorisierte Zweiräder

Für Motorräder gelten seit 1.1.2006 die Grenzwerte der Stufe Euro-3. Weitere Stufen sind in Vorbereitung und werden in TREMOD nicht berücksichtigt. Derzeit wird angenommen, dass ab 2009 alle

neu zugelassenen Motorräder der Stufe Euro-3 entsprechen.

Kleinkrafträder unterliegen seit 2002 der Stufe Euro-2.

Schienerverkehr

Die für den Schienenverkehr eingeführten Grenzwerte der Stufe IIIa sind seit Anfang 2009 vollständig in Kraft getreten. Die nächste Stufe IIIb folgt ab dem Jahr 2012. Im Trendszenario wird angenommen, dass diese Grenzwerte im Realbetrieb umgesetzt werden. Allerdings lässt sich nicht abschätzen, wie schnell neue Fahrzeuge beschafft werden und ältere ersetzen.

Ausgehend vom Ausgangsniveau werden daher für die verschiedenen Verkehrsbereiche unterschiedliche Minderungsraten der durchschnittlichen Emissionsfaktoren angenommen, z.B. für den Zeitraum 2008 bis 2030:

- eine Minderung der spezifischen NO_x-Emissionen zwischen 15% (Güter- und Personenfernverkehr) und 20% (Personennahverkehr)
- eine Minderung der Partikelmasse zwischen 15% (Personennahverkehr) und 71% (Güterverkehr).

Stufe	Gültig ab*	Leistungskl. (kW)	CO	HC	NO _x	Part
Triebwagen						
IIIa	1/06	Alle	3,5	4,0		0,2
III b	1/12	Alle	3,5	0,19	2,0	0,025
Lokomotiven						
IIIa	1/07	≤560	3,5	4,0		0,2
IIIa	1/09	>560	3,5	0,5	6,0	0,2
IIIa	1/09	>2000	3,5	0,4	7,4	0,2
IIIb	1/12	All	3,5	4,0		0,025
Bemerkungen: *Gültig für neue Fahrzeuge; neue Typen 6-12 Monate später						
Quelle: EU 2002a						

Binnenschifffahrt

Konkrete Emissionsgrenzwerte für die Binnenschifffahrt werden zur Zeit diskutiert. Da die Umsetzung solcher Grenzwerte in der Flotte unsicher ist, werden in TREMOD folgende Annahmen getroffen: Minderung 2005-2030: NO_x -30%, Partikelmasse: -10%.

Eine genauere Abschätzung ist aufgrund der unsicheren Datenlage der Emissionsfaktorenbasis in der Binnenschifffahrt nicht sinnvoll.

Flugverkehr

Die Emissionsminderungen für den Flugverkehr wurden vom Umweltbundesamt abgeschätzt. [UBA 2004a]. Dabei wird von einer Verminderung der kraftstoffbezogenen Emissionsfaktoren um 15% zwischen 2005 und 2030 und einer Halbierung der Par-

tikelmasse ausgegangen. Da der spezifische Kraftstoffverbrauch in diesem Zeitraum um 23% zurückgeht, ergibt sich bei NO_x eine Gesamtminderung von 33%. Nähere Informationen finden sich im Anhang.

-

Ergebnisse: Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs 2000-2030

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse des Trendszenarios dargestellt. Die Darstellung für alle Verkehrsträger beinhaltet die energetischen Vorketten. Die Ergebnisse für den Straßenverkehr werden aufgrund ihrer Bedeutung zusätzlich extra in einem eigenen Abschnitt ohne energetische Vorketten dargestellt.

Bei Interpretation der Ergebnisse ist insbesondere auf folgende Besonderheiten zu achten:

➤ Dargestellt werden die Ergebnisse für den Inlandsverkehr sowie beim Flugverkehr der

grenzüberschreitende Verkehr bis zur ersten Zwischenlandung.

➤ Die direkten CO₂-Abgasemissionen der Biokraftstoffe werden, wie die konventionellen Kraftstoffe, aufgrund ihres Kohlenstoffgehalts berechnet. Bei Berechnung der Gesamtemissionen (also direkte Emissionen inkl. Energiebereitstellung) sind die spezifischen CO₂-Emissionen entsprechend den Vorgaben der Nachhaltigkeitskriterien um 50% bzw. 60% (ab 2018) niedriger als die der konventionellen Kraftstoffe.

Primärenergieverbrauch alle Verkehrsträger

Der Primärenergieverbrauch des Verkehrs in Deutschland wird unter den Randbedingungen des Trendszenarios bis 2025 zunehmen und danach konstant bleiben. Gründe dafür sind die weiter stark zunehmenden Verkehrsleistungen, insbesondere im Straßengüterverkehr und Flugverkehr. Diese kompensieren die spezifischen Minderungen des Energieverbrauchs, die bei den Pkw am höchsten sind.

Aufgrund der starken Zunahme des Flugverkehrs steigt der Kerosinverbrauch bis 2030 deutlich an. Der Verbrauch an Otto-Kraftstoff geht zurück, dafür steigt der Dieserverbrauch, bedingt durch die Zunahme der Fahrleistungen der Diesel-Pkw und Lkw an. Der Anteil der Dieselmotoren am verkehrsbedingten Energieverbrauch steigt von 45% im Jahr 2008 auf 52% in 2030 an.

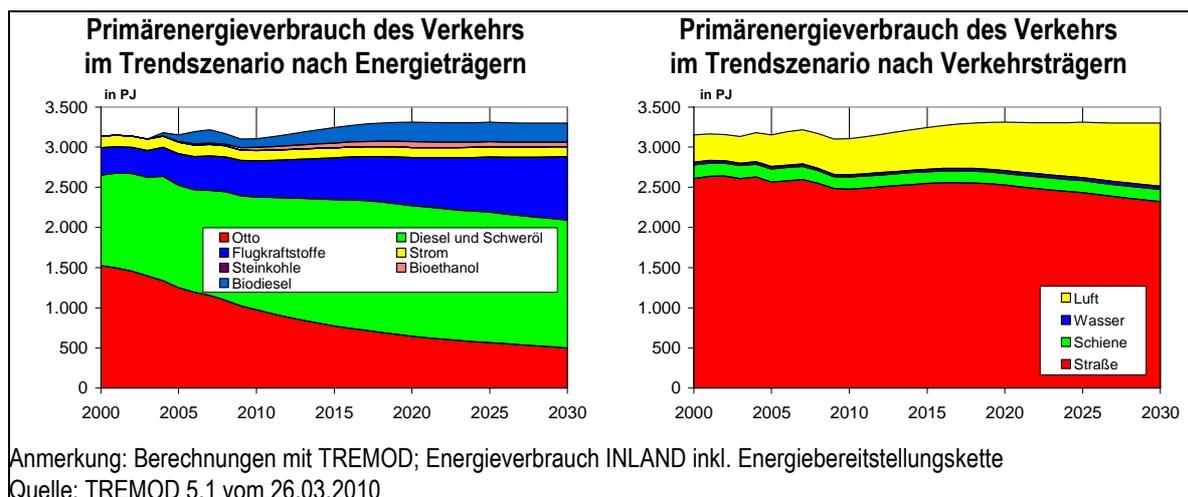


Abb. 28: Primärenergieverbrauch des Verkehrs in Deutschland im Trendszenario 2000-2030

Gesamtemissionen alle Verkehrsträger

Die CO₂-Emissionen des Verkehrs folgen in etwa dem Primärenergieverbrauch. Die Unterschiede sind verursacht durch den Einsatz der Biokraftstoffe:

- Bedingt durch die Einführung von Biokraftstoffen ab 1995 gingen die CO₂-Gesamtemissionen ab 2000 bis 2008 um 2% zurück.
- Unter den Annahmen des Trend-Szenarios steigen die CO₂-Emissionen weiter an und liegen im Jahr 2030 mit 239 Mio. t um 7% über dem Wert von 2008.
- Durch die weitere Zunahme des Anteils an Biokraftstoffen ist der CO₂-Abstieg mit +7% (2008-

2030) geringer als der Anstieg des Primärenergieverbrauchs (+11%).

Die NO_x-Emissionen des Verkehrs werden durch die Einführung von neuen Euro VI bzw. Euro-6-Fahrzeugen im Straßenverkehr ab 2013 weiter zurückgehen:

- Bis zum Jahr 2030 könnten die Emissionen auf 490 kt sinken. Dieser Wert liegt um rund 40% unter den Emissionen im Jahr 2008.
- Der Anteil des Straßenverkehrs an den NO_x-Emissionen könnte von 76% im Jahr 2008 auf 45% im Jahr 2030 zurückgehen.

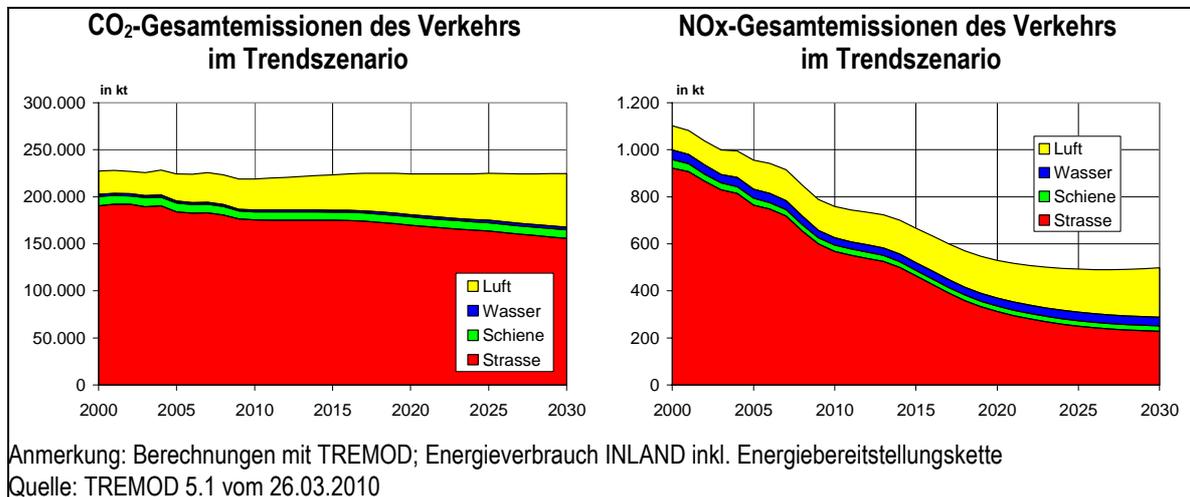


Abb. 29: CO₂- und NO_x-Emissionen des Verkehrs in Deutschland 2000-2030

Direkte Emissionen des Straßenverkehrs

Die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs nehmen im Trendszenario von 2009 bis 2020 zu (+3% gegenüber 2008), bleiben dann stabil und nehmen nach 2025 leicht ab). Grund ist die starke Zunahme des Straßengüterverkehrs, die erst nach 2025 durch die geringeren Zuwächse im Pkw-Verkehr überkompensiert werden.

Die NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs werden durch die Einführung von neuen Euro VI bzw. Euro-6-Fahrzeugen, verstärkt ab 2013 wei-

ter zurückgehen und könnten im Jahr 2030 um 72% niedriger sein als 2008.

Ein deutlicher Rückgang ist bei den Partikelemissionen zu erwarten. Deren Emissionen könnten bis 2030 um 92% gegenüber 2008 absinken.

Auch bei den Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidemissionen setzt sich die Minderung mit -37% bzw. -48% gegenüber 2008 fort.

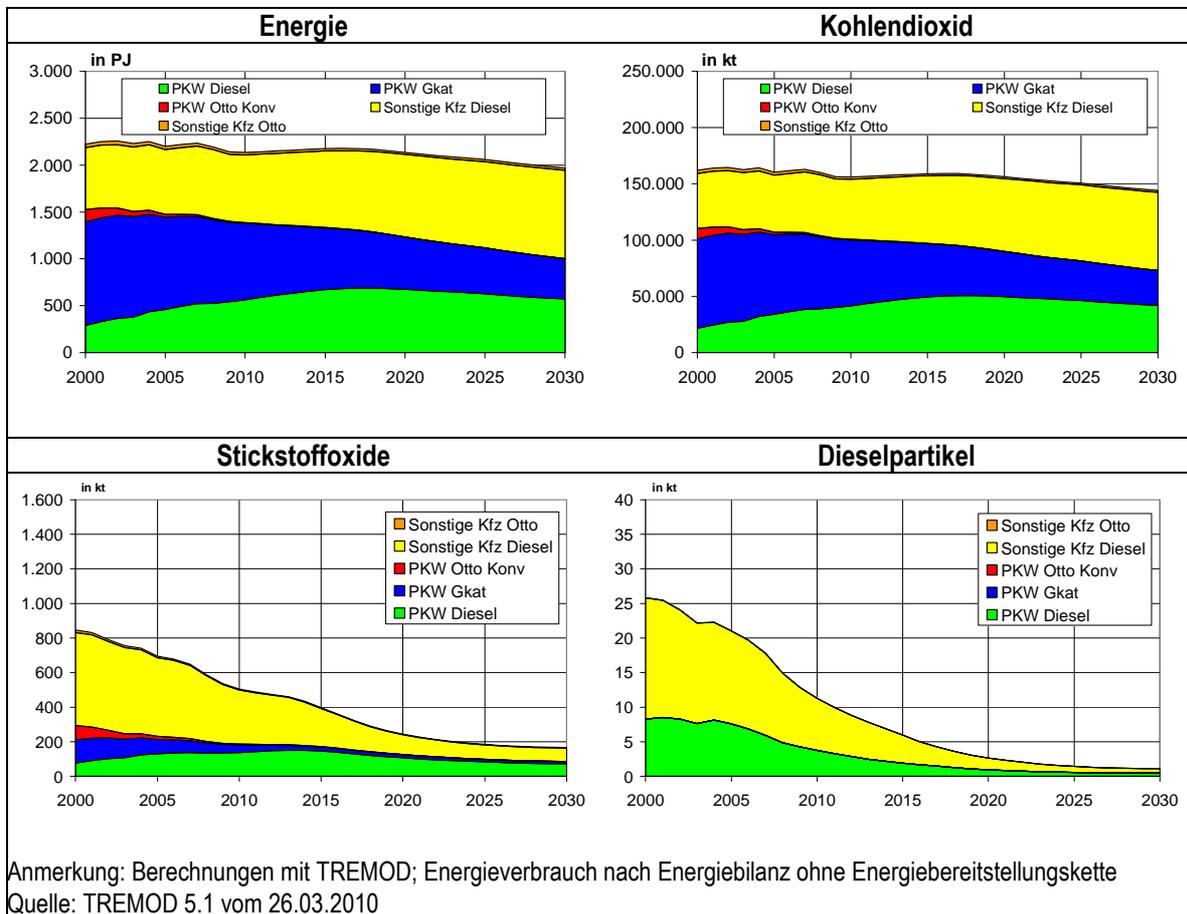


Abb. 30: CO₂- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland 2000-2030

Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.1

In diesem Kapitel werden wichtige Ergebnisse des Straßenverkehrs der TREMOD-Versionen 4.17

vom 12.12.2006 und der neuen Version 5.1 vom 26.03.2010 miteinander verglichen.

Fahrleistungen

Unterschiede der beiden TREMOD-Versionen beginnen im Jahr 2005, da in TREMOD 4.17 die Fahrleistungsentwicklung bis einschließlich 2004 berücksichtigt war. In TREMOD 5.1 reicht die reale Fahrleistungsentwicklung bis 2008, zusätzlich sind kurzfristig sichtbare Trends bis 2010 berücksichtigt, danach werden die Fahrleistungen linear bis 2025 interpoliert.

Für den Zeitraum 2004 bis 2010 zeigen sich folgende Unterschiede zur Vorversion 4.17:

- Kein Anstieg der Fahrleistungen aller Fahrzeugkategorien.
- Bei den Pkw gab es einen leichten Anstieg bis 2007 und einen Rückgang 2008.

- bei den schweren Nutzfahrzeugen gab es im Jahr 2005 einen Einbruch, der v.a. auf die Einführung der Lkw-Maut zurückgeht. Dem folgte ein steiler Anstieg bis 2008, der 2009 durch die Konjunkturkrise vermutlich endet.

Die Annahmen für das Trendszenario wurden für die Pkw kaum geändert, wogegen beim Lkw-Verkehr von einem deutlich höheren Anstieg der Fahrleistungen ausgegangen wird.

Für alle Fahrzeugkategorien startet das Szenario im Jahr 2010 auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in der früheren Version mit einem entsprechend steilerem Anstieg in den Jahren 2010 bis 2025.

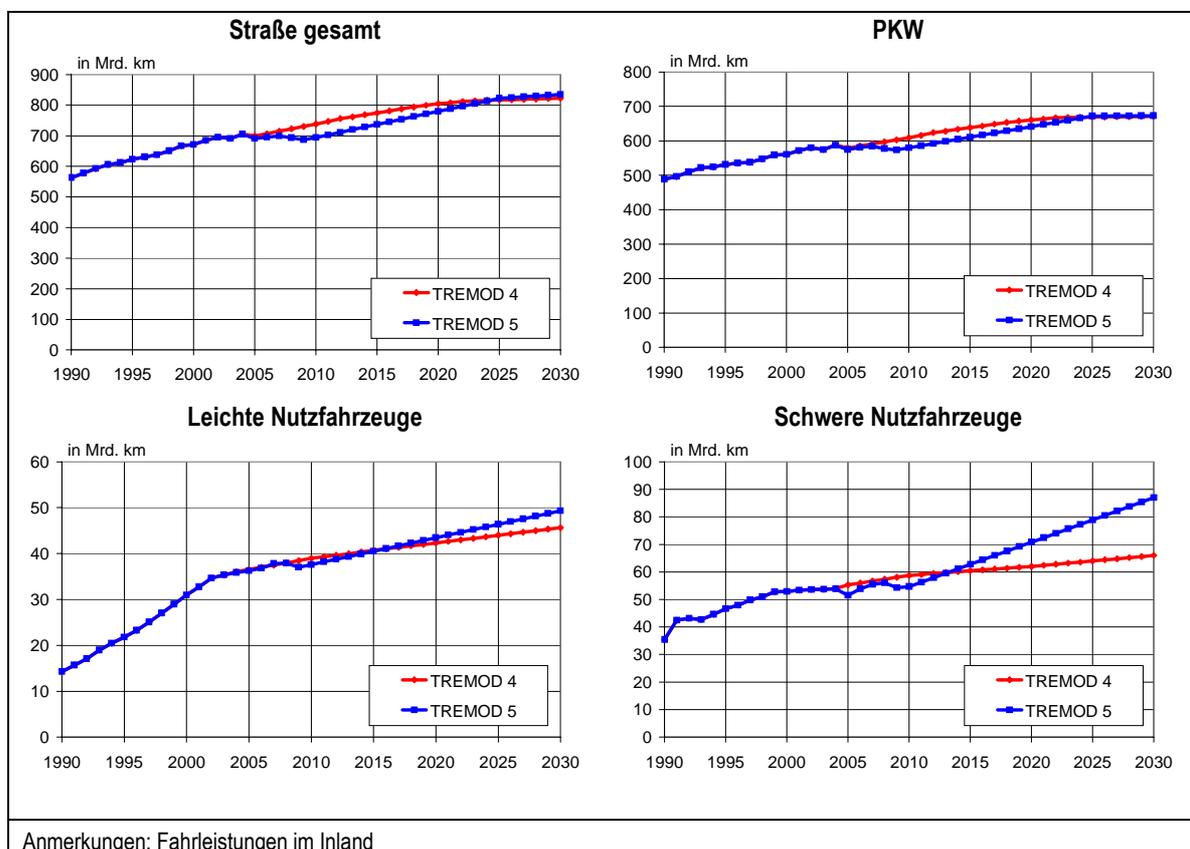


Abb. 31: Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.1 - Fahrleistungen

Verbrauch Ottokraftstoff

Der Verbrauch an Ottokraftstoff geht in der neuen TREMOD-Version nach 2010 stärker zurück als in der vorigen Version. Gründe sind eine deutlich geringere Fahrleistung bei den motorisierten Zweirädern und eine höhere Absenkung des spezifischen

Kraftstoffverbrauchs bei Otto-Pkw, die sich trotz einer etwas höheren Fahrleistung der Otto-Pkw (bedingt durch die Absenkung des angenommenen Diesel-Pkw-Anteils an den Neuzulassungen von 50% auf 45%) bemerkbar macht

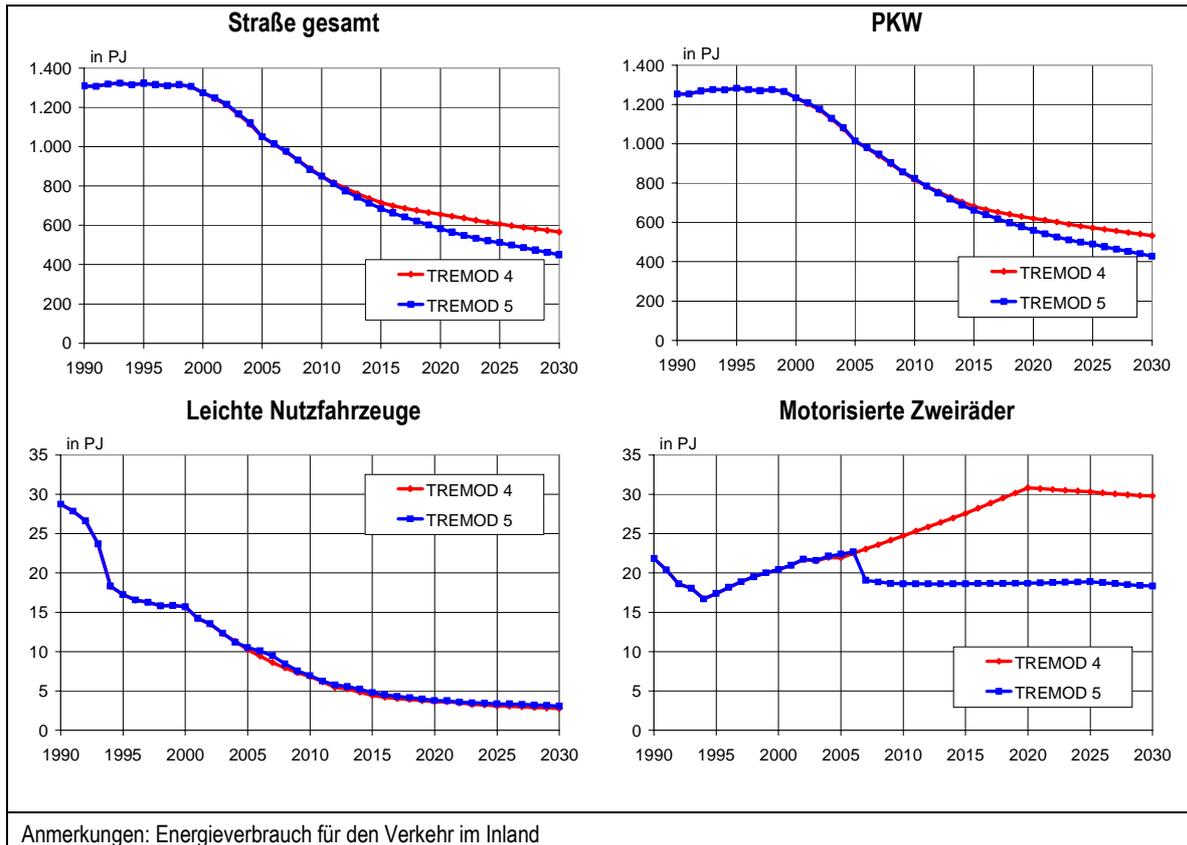


Abb. 32: Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.1 - Ottokraftstoff

Verbrauch Dieselkraftstoff

Der Verbrauch an Dieselkraftstoff nimmt im aktuellen Trendszenario etwas stärker zu als in der vorigen Version. Wesentliche Gründe sind die deutlich stärkere Zunahme des Straßengüterverkehrs bei gleichzeitig geringerer Absenkungsraten beim spezi-

fischen Energieverbrauch der schweren Nutzfahrzeuge. Diese Entwicklung wird aber kompensiert durch den geringeren Dieselanteil und höhere spezifische Absenkung bei den Pkw.

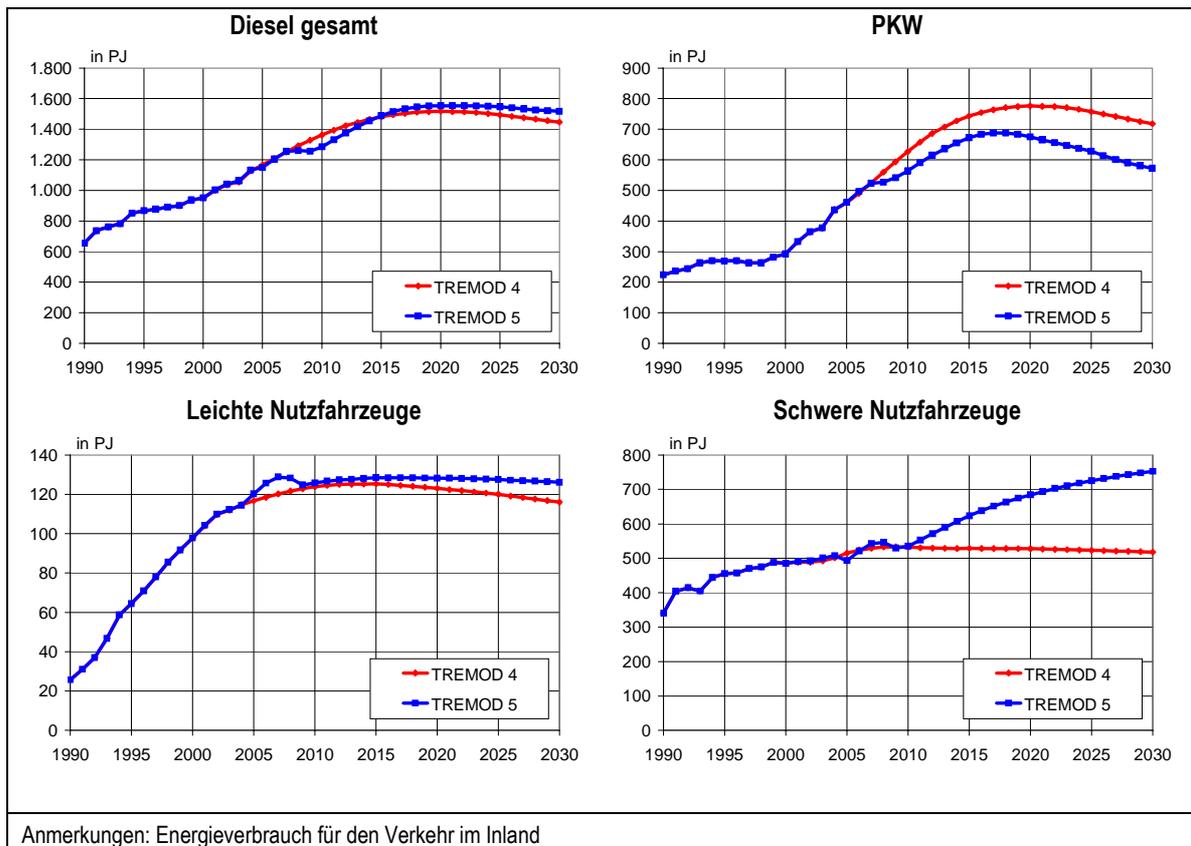


Abb. 33: Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.1 - Dieselkraftstoff

Stickstoffoxidemissionen

Die Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen des Straßenverkehrs unterscheiden sich in beiden Versionen deutlich voneinander: Sie liegen in der neuen Version bis 2015 über den Werten der früheren Version, danach sinken sie weiter deutlich ab, während sie in TREMOD 4.17 ab 2015 nahezu konstant bleiben. Die Gründe dafür sind:

- Ab 2004 sind die Emissionen bei den Pkw höher, da die Emissionen Euro-3 und Euro-4 Diesel-Pkw in TREMOD 4.17 zu niedrig abgeschätzt wurden. So haben die Messungen an den Fahrzeugen gezeigt, dass Euro-3-Fahrzeuge sogar höhere NO_x-Emissionen haben als Euro-2-Fahrzeuge.
- Bei den leichten Nutzfahrzeugen ist vermutlich ein statistischer Bruch die Ursache, da die neueren Bestandsdaten des KBA ab 2006 einen

deutlich höheren Anteil an großen Fahrzeugen mit höheren NO_x-Emissionen enthalten als bis 2004.

- Durch die Einführung von Euro-6 bzw. Euro VI-Fahrzeugen ab 2012 kommt es zu einer deutlichen Absenkung der NO_x-Emissionen. In TREMOD 4.17 waren nur Fahrzeuge bis einschließlich Euro-4 bzw. Euro-V berücksichtigt worden.

Durch die Einführung der Euro-6 bzw. Euro-VI-Fahrzeuge wird die Fahrleistungszunahme aufgrund der hohen spezifischen Minderungen (Diesel-Pkw: -68% gegenüber Euro-4, schwere Nutzfahrzeuge: -80% gegenüber Euro-5) deutlich überkompensiert.

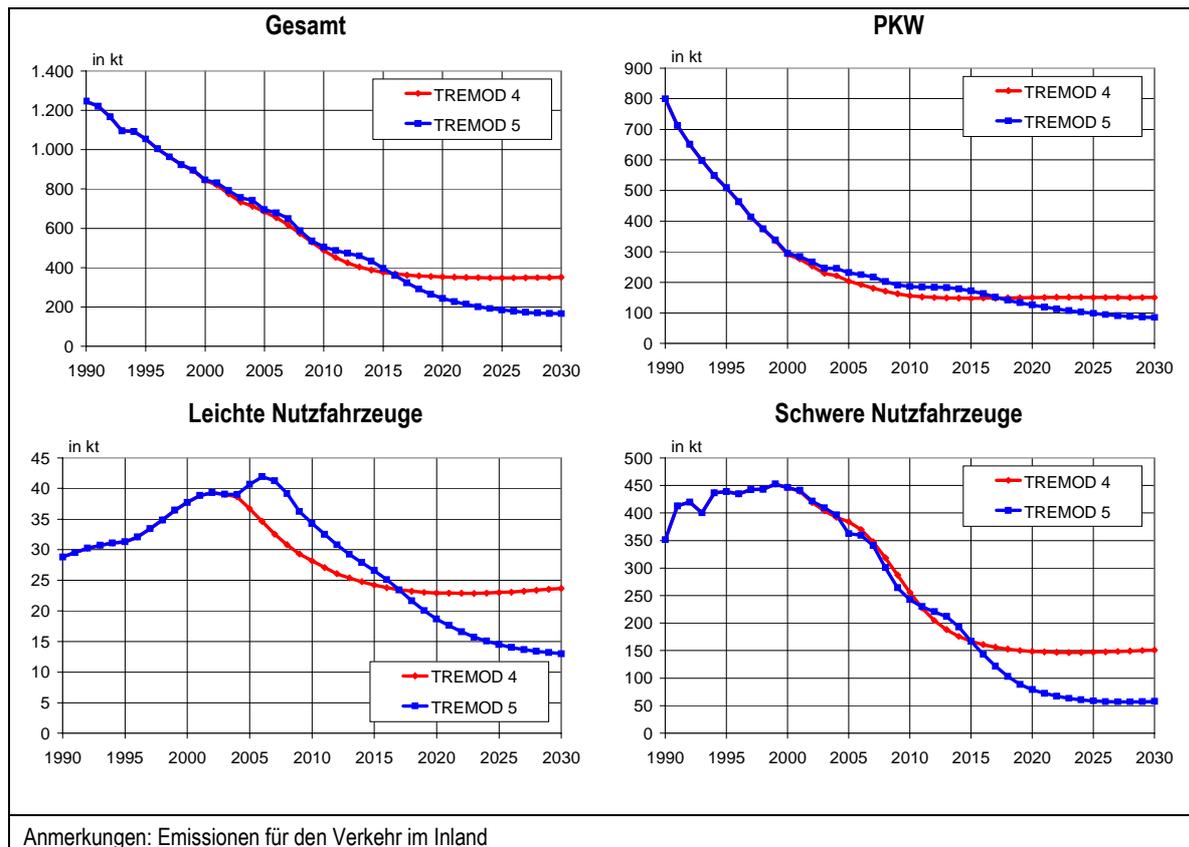


Abb. 34: Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.1 - Stickstoffoxidemissionen

Dieselpartikelemissionen

Die Entwicklung der Dieselpartikelemissionen ist in beiden Versionen bis ca. 2014 ähnlich. Erst danach gehen die Partikelemissionen in der neuen Version durch die Einführung der Euro-6 bzw. Euro-VI-Fahrzeuge deutlich zurück.

Ursache für den Anstieg bei den LNF von 2004 bis 2006 ist der oben schon erwähnte Bruch in der Bestandstatistik des KBA.

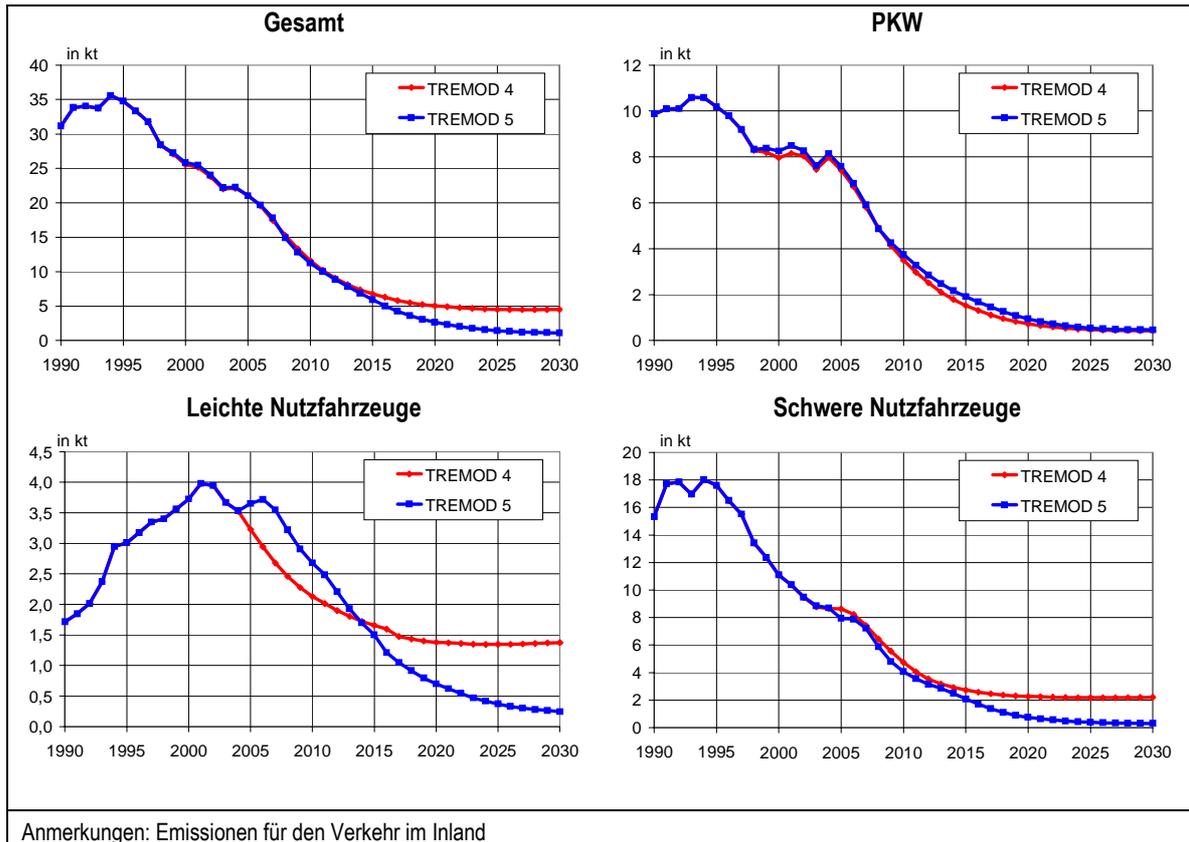


Abb. 35: Vergleich der TREMOD-Versionen 4.17 und 5.1 - Dieselpartikelemissionen

Literatur

- AG Energiebilanzen** Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland; Erscheinungsweise jährlich
- ARTEMIS** Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems; see <http://www.trl.co.uk/artemis/introduction.htm>
- BAFA** Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Amtliche Mineralöl-daten für die Bundesrepublik Deutschland; Jahresbericht; Erscheinungsweise jährlich, im Monatsbericht Dezember
- BAG 2008** Bundesamt für Güterverkehr: Mautstatistik; Monats- und Jahrestabellen
- BASt 2009a** Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007; Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe V“Verkehrstechnik“, Heft V 178; Berisch Gladbach, 2009
- BMVBS 2007a** ITP/BVU: Prognose der bundesweiten Verkehrsverflechtungen 2025; im Auftrag des BMVBS; FE-Nr. 96.0857/2005; München/Freiburg 2007
- Borken 1999** Borken, J., Paty, A., Reinhardt, G.: Basisdaten für ökologische Bilanzierungen – Einsatz von Nutzfahrzeugen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau; Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1999
- DB AG 2007a** Innovationsprogramm Bahn Vortrag von Ulrich Ostermayer am 2.11.2007; im Rahmen des BMU-Vorhabens Renewbility
- DB 2005b** Ausstoß von klimaschädlichem Kohlendioxid wird um 15 Prozent gemindert; <http://www.db.de/site/bahn/de/unternehmen/umwelt/klima/klimaschutzziel/klimaschutzziel.html>
- DB 2009a** Interne Auswertungen zu Verkehr- und Betriebsleistungen, Energieverbrauch und Emissionen der DB AG
- DIW 2005a** Kunert, U. et al: Aktualisierung und Weiterentwicklung der Berechnungsmodelle für die Fahrleistungen von Kraftfahrzeugen und für das Aufkommen und für die Verkehrsleistungen im Personenverkehr (MIV); im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen; Berlin, April 2005
- DTV 2007a** Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse; DTV Verkehrsconsult GmbH, Aachen Berichter der BASt, Unterreihe „Verkehrstechnik, Heft V 164, Aachen 2007
- Heusch-Boesefeldt 1994a** Palm, I., Regniet, G., Schmidt, G., Heusch-Boesefeldt: Nutzfahrzeug-Jahresfahrleistungen 1990 (1986) auf den Straßen in der Bundesrepublik Deutschland; im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr; Aachen 1994
- Heusch-Boesefeldt 1994b** Palm, I., Regniet, G., Schmidt, G., Heusch-Boesefeldt: Ermittlung der Pkw-Jahresfahrleistungen 1990 und 1986 auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland; im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen 1994
- Heusch-Boesefeldt 1996a** Palm, I., Regniet, G., Schmidt, G., Heusch-Boesefeldt: Ermittlung der Pkw- und Nfz-Jahresfahrleistungen 1993 auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland; im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen 1996
- IFEU 2003c** Knörr, W. et al., IFEU: Erarbeitung von Basisemissionsdaten des dieselbetriebenen Schienenverkehrs unter Einbeziehung möglicher Schadstoffminderungstechnologien – Weiterführung und Auswertung des UBA-FuE-Vorhabens 299 43 111; im Auftrag der Deutschen Bahn AG; Heidelberg, 2003
- IFEU 2009a** Aktualisierung des Modells TREMOD – Mobile Machinery (TREMOM-MM); im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg, Februar 2009
- INFRAS 1995a** Keller, M. et al, NFRAS: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.1; im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft Bern und des Umweltbundesamtes, Bern/Berlin 1995

- INFRAS 1999a** Keller, M. et al, INFRAS: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2, Software und Dokumentation zur Version Deutschland; im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft Bern und des Umweltbundesamtes, Bern/Berlin 1999
- INFRAS 2004a** Keller, M. et al, INFRAS in Zusammenarbeit mit IFEU, TU Graz und RWTÜV: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Software und Dokumentation; im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft Bern und der Umweltbundesämter Berlin und Wien; Bern/Heidelberg/Graz/Essen 2004
- INFRAS 2009a** Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1; in Bearbeitung
- IVT 1993a** Hautzinger, H. et al., IVT: Fahrleistungserhebung 1990, Inlandsfahrleistungen und Kfz-Unfallrisiko in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer); Bergisch Gladbach, Dezember 1993
- IVT 1994a** Hautzinger, H. et al., IVT: Fahrleistung und Unfallrisiko von Kraftfahrzeugen; Schlussbericht zur Fahrleistungserhebung 1993; im Auftrag der BAST Bergisch Gladbach 1994
- IVT 2004a** Hautzinger, H. et al., IVT: Fahrleistungserhebung 2002, Band 2: Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen; Heilbronn/Mannheim, November 2004
- KBA 2009** Kraftfahrt-Bundesamt: Datenbankauswertung der Fahrzeugbestände und Neuzulassungen 2001-2009 für TREMOD; im Auftrag der BAST
- KBA_BAG** Kraftfahrt-Bundesamt und Bundesamt für Güterverkehr: Statistische Mitteilungen, Reihe 8: Kraftverkehr, Güterkraftverkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge; Erscheinungsweise monatlich
- MiD 2002** Mobilität in Deutschland; Ergebnisbericht, infas und DIW Berlin, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen; Berlin/Bonn; April 2004
- MWV 2009a** Interne Auswertungen des MWV für TREMOD, Juni 2009
- RWTÜV 1993a** Richter A. et al. RWTÜV, Dursbeck, F., TÜV Rheinland: Ermittlung der Emissionsfaktoren für Motorräder in der Bundesrepublik Deutschland (Ergänzungsmessungen); im Auftrag des Umweltbundesamtes; Abschlussbericht Oktober 1993
- RWTÜV 1993b** Heine, P. et al., RWTÜV: Ermittlung des Abgasemissionsverhaltens von Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor über 3,5 t zul. Gesamtgewicht im Bezugsjahr 1986; im Auftrag des TÜV Rheinland; Entwurf Februar 1993
- RWTÜV 1993c** Heine, P., Rheinisch-Westfälischer TÜV: Verdampfungs- und Verdunstungsemissionen; im Auftrag des BUWAL; in der Reihe: Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs in der Schweiz 1990-2010, Arbeitsunterlage 13; Bern, Februar 1993
- TU Graz 2003a** Hausberger, S. et al., TU Graz : Update der Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge nach EURO 3, Bericht Nr. FVT-45/03/ Haus Em 6790-30 vom 22.12.2003
- TU Graz 2002a** Hausberger, S. et al., TU Graz : Update of the Emission Functions for Heavy Duty Vehicles in the Handbook Emission Factors for Road Traffic, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Umweltbundesamtes Österreich ; Graz, 16.12.2002
- TÜV Rheinland 1994a** Hassel, D. et al., TÜV Rheinland: Abgas-Emissionsfaktoren von PKW in der Bundesrepublik Deutschland; - Abgasemissionen von Fahrzeugen der Baujahre 1986 bis 1990; im Auftrag des Umweltbundesamtes; UBA-Bericht 8/94; Berlin 1994
- TÜV Rheinland 1994e** Hassel, Deutschland. et al., TÜV Rheinland: Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland - Abgasemissionsfaktoren von Dieselmotoren bis Baujahr 1990; im Auftrag des Umweltbundesamtes; 1995
- UBA 2004a** Internes Arbeitspapier zum zivilen Luftverkehr; Berlin, 2004; Zukünftige Entwicklung: Mail vom 13. Juni 2005
- UBA 2009a** National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990-2007; Climate Change 03/09, ISSN 1862-4359; Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt); Dessau; April 2009

UBA 2009b Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger – Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007; Umweltbundesamt; Dessau, 30.06.2009

VDV 2008a Betriebsleistungsdaten und Energieverbrauch im Jahr 2006; Interne Auswertungen des VDV;

ViZ BMVBS (Hrsg.): Verkehr in Zahlen; bearbeitet von DIW; Erscheinungsweise jährlich; Bonn/Berlin

WI-DLR-IFEU 2005a Arbeitsgemeinschaft Wuppertal Institut, DLR Stuttgart und IFEU Heidelberg: Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Einführung alternativer Kraftstoffe, insbesondere regenerativ erzeugtem Wasserstoff als Kraftstoff für den mobilen Bereich; Forschungsvorhaben im Rahmen des UFOPLAN des Umweltbundesamtes (FKZ 203 45 118), 2005

WTZ 2002a/ Pittermann, R. (WTZ): Ermittlung von Basisemissionsdaten des dieselbetriebenen Schienenverkehrs; Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 299 43 111; im Auftrag des Umweltbundesamtes; Rosslau, Januar 2002

Glossar

Übersicht: Fahrzeugkategorien			
Bezeichnung Deutsch		Bezeichnung Englisch	
PKW	Personenkraftwagen	PC	Passenger Car
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge <=3,5t	LCV	Light Commercial Vehicle
LKW	Lkw >3,5t zulässiges Gesamtgewicht	RT	Rigid Truck
LZ	Lastzug	TT	Truck Trailer
SZ	Sattelzug	AT	Articulated Truck
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge: LKW, LZ und SZ	HGV	Heavy Goods Vehicles
RBus	Reisebus	Coach	Tour Coach
LBus	Linienbus	UBus	Urban Bus
KKR	Kleinkraftrad	SMC	Small Motorcycle
KR	Krafttrad	MC	Motorcycle
Wml	Wohnmobil <=3,5t	-	-
Wms	Wohnmobil >3,5t	-	-
UeKfzl	Übrige Kraftfahrz. ohne Wohnmobil <=3,5t	-	-
UeKfzs	Übrige Kraftfahrz. ohne Wohnmobil >3,5t	-	-

Übersicht; Fahrzeugsegmente			
FzKat	Segment	FzKat	Segment
PKW	PC Petrol <1,4l	LZ	TT <=28t DE-East
PKW	PC Petrol >=1,4-2 l	LZ	TT <=28t
PKW	PC Petrol >=2 l	LZ	TT >28-34t
PKW	PC 2S DE-East	LZ	TT >34-40t
PKW	PC 4S DE-East	SZ	AT <=28t
PKW	PC Diesel <1,4l	SZ	AT >28-34t
PKW	PC Diesel >= 1,4-2 l	SZ	AT >34-40t
PKW	PC Diesel >=2 l	SZ	AT >28-34t DE-East
LNF	LCV Petrol M+N1-I	RBus	Coach <=18t Standard
LNF	LCV Petrol N1-II	RBus	Coach >18t 3-Axes
LNF	LCV Petrol N1-III	RBus	Coach <=16t DE-East
LNF	LCV 2S DE-East	LBus	Ubus <=15t Midi
LNF	LCV Diesel M+N1-I	LBus	Ubus >15-18t Standard
LNF	LCV Diesel N1-II	LBus	Ubus >18t Artic.
LNF	LCV Diesel N1-III	LBus	Ubus <=20t DE-East
LKW	RT <= 7,5t	LBus	Ubus >20t DE-East
LKW	RT > 7,5-12t	LBus	Ubus >15-18t CNG
LKW	RT >12-14t	KKR	SMC
LKW	RT >14-20t	KR	MC 4S >250-750cc
LKW	RT >20-26t	KR	MC 4S >150-250cc
LKW	RT >26-28t	KR	MC 4S >750cc
LKW	RT >28-32t	KR	MC 4S <=150cc
LKW	RT >32t	KR	MC 2S >150cc
LKW	RT <= 7,5t (DE-East)	KR	MC 2S <=150cc
LKW	RT > 7,5-14 (DE-East)		