

Schlussbericht

# Referenzszenario zu den Einsparpotenzialen der Treibhausgas(THG)-Emissionen und des Endenergieverbrauchs im Verkehrsbereich für die Zeithorizonte 2020 und 2050

im Auftrag des  
Bundesministeriums für Verkehr,  
Bau und Stadtentwicklung

Invalidenstrasse 44  
D-10115 Berlin

Dr. Stefan Rommerskirchen  
(ProgTrans)  
Natalia Anders (ProgTrans)

Dr. Michael Schlesinger  
(Prognos)  
Samuel Strassburg (Prognos)

# Inhalt

	<b>Seite</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>IV</b>
<b>1 Hintergrund und Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Sozioökonomischer Rahmen für das Referenzszenario</b>	<b>5</b>
<b>3 Verkehrsentwicklung zum Referenzszenario</b>	<b>9</b>
3.1 Einführung und Vorbemerkung	9
3.2 Personenverkehr	10
3.3 Güterverkehr	15
3.4 Zusammenfassung und kritische Würdigung der Verkehrsprognosen	26
<b>4 CO<sub>2</sub>-relevante autonome technologische Entwicklungen</b>	<b>28</b>
<b>5 Wirkungsanalyse aller untersuchungsrelevanten politischen Initiativen und Maßnahmen</b>	<b>31</b>
5.1 Methodische Grundlagen und Annahmen für das Referenzszenario	31
5.2 Politische Initiativen	35
5.3 Maßnahmen	43
<b>6 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzszenario</b>	<b>47</b>
<b>7 Endenergieverbrauch im Referenzszenario</b>	<b>51</b>
7.1 Endenergieverbrauch nach Verkehrszweigen	51
7.2 Endenergieverbrauch nach Energieträgern	53
<b>8 Einsparpotenziale insgesamt und ausgewählter politischer Initiativen im Referenzszenario</b>	<b>57</b>
8.1 Maßnahmenwirkung insgesamt im Überblick	57
8.2 Einzelwirkung ausgewählter politischer Initiativen	63
8.2.1 Wirkungsvergleich der vier isoliert untersuchten politischen Initiativen aus dem Referenzszenario	64

8.2.2	Einzelbetrachtung der „EU-Verordnung CO <sub>2</sub> -Zielwerte für Pkw“	68
8.2.3	Einzelbetrachtung „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“	70
8.2.4	Einzelbetrachtung „Ausbau von Biokraftstoffen und Erhöhung der Beimischungsquote“	72
8.2.5	Einzelbetrachtung „Änderung der Lkw-Maut“	80
8.3	Zusätzliche Einzelwirkungen ausgewählter ab 2010 beschlossener politischer Initiativen	81
8.4	Qualitativer Vergleich der Instrumentenwirkung	90
<b>9</b>	<b>Kosten und Nutzen sowie Sekundäreffekte der Instrumente</b>	<b>94</b>
9.1	Kosten und Nutzen	94
9.2	Sekundäreffekte	98
9.3	Fragen der Akzeptanz	101
<b>10</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergie-verbrauch in der Variante „Referenz minus 15%“</b>	<b>105</b>
<b>11</b>	<b>Einordnung der Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf die Zielsetzung der Bundesregierung bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch</b>	<b>109</b>
<b>12</b>	<b>Resümee und Empfehlungen</b>	<b>114</b>
	<b>Literaturliste</b>	<b>116</b>

## Abkürzungen

BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid bzw. Kohlendioxid
EEV	Endenergieverbrauch
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
i.w.S.	im weiteren Sinne
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfw	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Kfz	Kraftfahrzeug
km	Kilometer
KoPa II	Konjunktur-Paket II
k.A.	keine Angaben
Lkw	Lastkraftwagen
Mio.	Million = 1.000.000
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mrd.	Milliarde = 1.000.000.000
NEPE	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
O.J.	Ohne Jahr
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr
p.a.	per anno
pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
THG	Treibhausgas
tkm	Tonnenkilometer
Tsd.	Tausend = 1.000
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

# 1 Hintergrund und Aufgabenstellung

(1) Das generelle Ziel, die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) in Deutschland bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 um 40 % zu senken, wurde durch die im Herbst 2009 neu gebildete Bundesregierung explizit bestätigt. Die Sektoren „Verkehr“ und „Gebäude“, für deren Gestaltung das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) federführend zuständig ist, sollen zum genannten, nicht sektorspezifisch differenzierten Reduktionsziel einen „angemessenen“ Beitrag leisten. Im Hinblick auf die Reduktion des Endenergieverbrauchs existiert gemäß Energiekonzept der Bundesregierung auch das sektorale Ziel im Verkehr, den Endenergieverbrauch zwischen 2005 und 2020 um 10% und bis 2050 um 40% zu reduzieren.

(2) Um eine Vorstellung darüber zu erhalten, wie sich die verkehrlichen THG-Emissionen und der Endenergieverbrauch zukünftig entwickeln, und auf dieser Basis mögliche Einsparpotenziale zu identifizieren und zu bewerten, die für den Klimaschutz nutzbar gemacht werden können, hat die Arbeitsgemeinschaft ProgTrans AG (Basel) / Prognos AG (Basel) im Auftrag des BMVBS die Untersuchung „Entwicklung eines Referenzszenarios für die Einsparpotenziale der Treibhausgas(THG)-Emissionen und des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich für die Zeithorizonte 2020 und 2050“ durchgeführt. Bei den THG-Emissionen wurden dabei generell nur CO<sub>2</sub>-Emissionen behandelt<sup>1</sup>. Bei diesem Referenzszenario wurde – der Charakteristik eines Trendszenarios entsprechend – davon ausgegangen, dass die Wirkungen aller relevanten politischen Initiativen in Form von Instrumenten und Maßnahmen berücksichtigt sind, die bis zum 31.12.2009 konkret bekannt und ergriffen worden sind. Das Referenzszenario zeigt also die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Endenergieverbrauchs im Verkehrsbereich unter Trend-Bedingungen bis 2020 und 2050 unter Berücksichtigung der bis zum 31.12.2009 beschlossenen politischen Initiativen und Instrumente zum Klimaschutz auf.

(3) Wichtige Grundlagen des Referenzszenarios stellen die zukünftigen sozioökonomischen Entwicklungen und die daraus resultierenden Verkehrsnachfrageentwicklungen im Personen- und Güterverkehr dar. Um die Kompatibilität mit den anderen Arbeiten des BMVBS zu gewährleisten, wurde für die vorliegenden Arbeiten für den Zeitraum bis 2025 die im Jahr 2007 vorgelegte „Verflechtungsmatrix 2025“ zugrunde gelegt. Die Perspektiven für das Jahr 2050 wurden auf Basis aktuellerer Prognosearbeiten der Arbeitsge-

---

<sup>1</sup> Bezüglich des Treibhausgasäquivalenzwertes beträgt der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen an den Treibhausgasemissionen im Jahr 2009 über 99% (vgl. Quelle [70]).

meinschaft ProgTrans/Prognos unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Wirtschafts- und Finanzkrise erarbeitet. Um der Prognoseunsicherheit, die aus dem relativ weit zurückliegenden Erstellungsjahr der „Verflechtungsmatrix 2025“ resultiert, Rechnung zu tragen, wurde eine zusätzliche Variante „Referenz minus 15%“ berechnet, bei der die Personen- und Güterverkehrsleistungen um 15% unter dem errechneten Werten für die Jahre 2020 und 2050 liegen.

(4) Insgesamt bildeten 15 politische Initiativen des Dokumentes „Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm“ der Bundesregierung die Grundlage der Wirkungsermittlung. Zunächst wurden die Einsparpotenziale der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie des Endenergieverbrauchs der betrachteten Instrumente und Maßnahmen im Verkehrsbereich identifiziert und in ihrer Gesamtwirkung für die Jahre 2020 und 2050 bewertet. Anhand von Literaturrecherchen wurde abgeschätzt, wie hoch die betriebs- und gesamtwirtschaftlichen Kosten der bis zum 31.12.2009 beschlossenen Instrumente sind, und es wurde soweit möglich analysiert, welche Akzeptanzprobleme oder (unerwünschten) Sekundäreffekte zu erwarten sind.

(5) Das Ergebnis soll als Grundlage zur politischen Wertung dienen, welcher Beitrag des Verkehrs zur Erreichung der Klimaschutzziele als „angemessen“ einzuschätzen ist und welche Instrumente „verschärft“ werden sollen bzw. welche zusätzlichen Maßnahmen in einem „Zielerreichungs-Szenario“ zu ergreifen sind, um weitergehende Minderungsbeiträge zu erzielen. Dazu ist es allerdings erforderlich, neben der untersuchten Gesamtwirkung der politischen Initiativen nach Möglichkeit auch deren Einzelwirkungen zu analysieren.

(6) Vor diesem Hintergrund wurde die Untersuchung dahingehend erweitert, neben der vereinbarten Wirkungsabschätzung aller politischen Initiativen in ihrem gesamten Wirkungszusammenhang ergänzend auch eine Abschätzung der Wirkungen einzelner politischer Initiativen vorzunehmen sowie zusätzliche, ab dem 01.01.2010 beschlossene politische Initiativen zu betrachten. Eine Aktualisierung der Datengrundlagen erfolgte dabei aber nicht, sodass bei den sozioökonomischen und verkehrlichen Grundlagen der vorliegenden Untersuchung nur die Entwicklungen bis zur Jahresmitte 2011 berücksichtigt sind. Bei den ebenfalls erst im Zuge des Erweiterungsauftrags neu hinzukommenden Abschätzungen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs konnten hingegen Datengrundlagen, die bis zum Frühjahr 2012 verfügbar waren, genutzt werden.

(7) Für diese ergänzenden Untersuchungen (vom Januar bis Juli 2012) wurden durch den Auftraggeber einzelne (bis zum 31.12.2009 beschlossenen) politische Initiativen ausgewählt, deren Einzelwirkung im Hinblick auf die Endenergieverbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Reduktion auf der Grundlage des Referenzszenarios abzuschätzen waren. Auch für einzelne zusätzliche politische Initiativen, die ab dem 01.01.2010 beschlossen wurden und daher nicht im Referenzszenario enthalten sind, wurden Einzelwirkungen auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Endenergieverbrauchs für die Zeithorizonte 2020 und 2050 quantitativ abgeschätzt.

(8) Zu den beiden Zeitpunkten des Betrachtungshorizonts, den Jahren 2020 und 2050, ist ergänzend anzumerken, dass sie hinsichtlich ihrer Prognosecharakteristik deutliche Unterschiede aufweisen: Das Jahr 2020 hat aus (heutiger) Perspektive des Jahres 2012 kaum noch den Charakter einer Langfristvorhersage, sondern eher einer „Mittelfristprognose“; viele Rahmenbedingungen, die in 2020 Gültigkeit haben werden, sind schon heute sehr konkret auf den Weg gebracht, die große Mehrheit der Menschen, die in 2020 leben wird, ist bereits auf der Welt, und heute verkehren auch bereits Pkw, die auch im Jahr 2020 noch verkehren werden. Demgegenüber ist das Jahr 2050 noch ausgesprochen weit entfernt, alle Vorhersagen sind wesentlich vager. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Entwicklung bis 2050 nicht trendmäßig vollzieht, ist deutlich höher als bis zum Jahr 2020. Mit anderen Worten: Die Zukunft bis 2050 ist wesentlich offener und auch stärker gestaltbar (oder gestaltungsbedürftig), und daher ist es angemessen, die Vorhersagen für das Jahr 2050 nicht als „Prognosen“, sondern als „Perspektiven“ oder „Projektionen“ zu bezeichnen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser langfristigen Perspektiven ist deutlich geringer als diejenige der Trendprognosen für das Jahr 2020. Aber auch für diese gilt letztlich, dass sie ihre Gültigkeit ausschließlich aus der Plausibilität bzw. dem vermuteten Eintreffen der getroffenen Annahmen beziehen. Eine mathematisch-statistische Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit von Vorhersagen ist ohnehin prinzipiell nicht möglich: Berechnete Wahrscheinlichkeiten funktionaler Zusammenhänge beziehen sich generell ausschließlich auf die bei der Modellbildung eingesetzten Daten, also auf die Vergangenheit!

(9) Der unterschiedlichen Charakteristik der beiden Vorhersagejahre 2020 und 2050 wird im vorliegenden Bericht dadurch Rechnung getragen, dass die Vorhersagen für das Jahr 2020 als „Prognosen“ bezeichnet werden, diejenigen für das Jahr 2050 hingegen als „Perspektiven“ oder „Projektionen“. Optisch wird der Unterschied dadurch zum Ausdruck gebracht, dass in Tabellen Angaben für das Jahr 2020 (und ggf. auch für das Jahr 2025) normal, für das Jahr 2050 hingegen kursiv gesetzt sind.

(10) Auch der Begriff „Referenzszenario“ soll noch etwas näher erläutert werden: Unter dem „Referenzszenario“ wird ein zukünftiger Entwicklungspfad verstanden, bei dem sich die aus heutiger Sicht maßgeblichen Bestimmungsfaktoren der im Mittelpunkt des Szenarios stehenden Kenngrößen – im vorliegenden Fall also die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Endenergieverbrauch des Verkehrs – nicht anders verändern als in der Vergangenheit, also einem „Trendpfad“ folgen. In der vorliegenden Untersuchung wurden in diesem Zusammenhang auftragsgemäß zwei unterschiedliche Trendpfade betrachtet: Einerseits derjenige, der sich einstellt, wenn sich die maßgeblichen Instrumente und Maßnahmen zur Umsetzung politischer Initiativen mit dem Ziel einer Beeinflussung der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissions- und Endenergieverbrauchsentwicklung zukünftig nicht verändern, und der nachfolgend als „Basis-Trendszenario“ bezeichnet wird; er beschreibt also ausschließlich „autonome“ Entwicklungen. Und andererseits derjenige, der sich einstellt, wenn die Maßnahmen gemäß den bis Ende 2009 gefällten Beschlüssen umgesetzt werden, und der nachfolgend als „Referenzszenario“ bezeichnet wird. Der Unterschied zwischen „Basis-Trendszenario“ und „Referenzszenario“ ist also genau die interessierende Wirkung der zu betrachtenden politischen Initiativen. Das „Referenzszenario“ wird als Referenz bezeichnet, weil es als Bezugsentwicklung zur Beurteilung derjenigen Wirkungen betrachtet wird, die sich einstellen, wenn weitere politische Initiativen bzw. Instrumente und Maßnahmen zur Beeinflussung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Endenergieverbrauchs des Verkehrs ergriffen und beurteilt werden sollen, um beispielsweise vorgegebene politische Ziele zu erreichen, die gemäß Referenzszenario nicht erreicht werden. Solche Szenarien werden dann als „Zielszenarien“ bzw. als „Zielerreichungsszenarien“ bezeichnet. Sie sind nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.



## 2 Sozioökonomischer Rahmen für das Referenzszenario

(1) Einwohnerzahl, Wirtschaftsleistung und Außenhandel sind wichtige Bestimmungsgründe für die Leistungen im Personen- und Güterverkehr. Der sozioökonomische Rahmen für das Referenzszenario wird konkretisiert durch die Anzahl und Struktur der Einwohner in Deutschland sowie durch Bruttoinlandsprodukt (BIP), Export und Import in der Abgrenzung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR, [3]) und zu konstanten Preisen des Jahres 2000.

(2) Die sozioökonomischen Rahmendaten zwischen 1991 und 2050 wurden wie folgt festgelegt<sup>2</sup>:

1991 - 2009: Für diesen Zeitraum wurde die Ist-Entwicklung zugrunde gelegt.

2010: Die Werte für dieses Jahr wurden geschätzt.

2011 - 2025:

- Für die Einwohnerzahl wurde – entsprechend der Vorgabe des Auftraggebers – der Wert für das Jahr 2025 unverändert aus der „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025“ („Verflechtungsmatrix 2025“) [5] übernommen. Die Zwischenwerte 2011 bis 2024 wurden linear interpoliert.
- Für BIP, Export und Import wurden die Absolutwerte des Jahres 2025 ermittelt, indem die jeweilige Zuwachsrates dieser Größen gemäß Verflechtungsmatrix 2025 [5] auf den von der VGR für 2004 [3] ausgewiesenen Wert angewendet wurde. Die Werte von 2011 bis 2024 wurden durch lineare Interpolation berechnet.

2026 - 2050: Die Entwicklung der sozioökonomischen Leitgrößen nach 2025 orientiert sich an folgenden Einschätzungen und Annahmen:

- Die Entwicklung der Bevölkerung zwischen 2025 und 2050 ist geprägt durch den Rückgang der Einwohnerzahl und die Alterung der Gesellschaft. Die Veränderungen der Bevölkerungszahlen zwischen 2025 und 2050 wurden von der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes, Variante 1-W2 [2] übernommen, die auch der Fortschreibung des BIP bis 2050 zu-

---

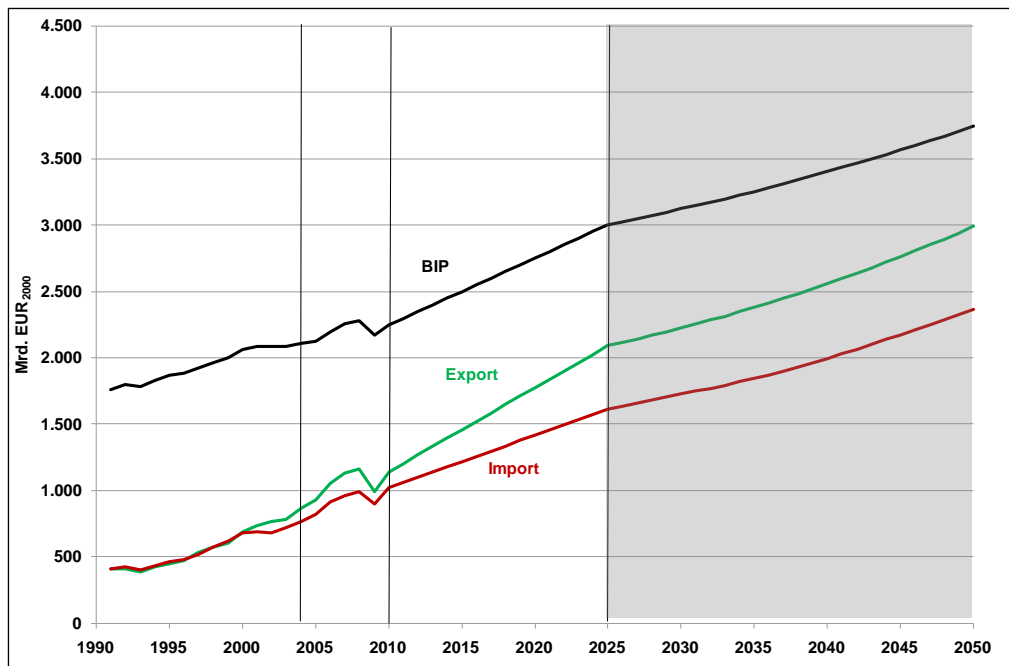
<sup>2</sup> Datenbasis sind die bis zur Jahresmitte 2011 verfügbaren Informationen.

grunde liegt. Diese Variante beruht auf der Annahme einer Geburtenhäufigkeit von 1,4 Kindern je Frau und bleibt damit im Bereich des gegenwärtigen Niveaus. Die Lebenserwartung steigt weiter an und liegt für im Jahr 2050 geborene Mädchen bei 88,2 Jahren, für Jungen bei 83,7 Jahren. Bis 2050 beträgt die kumulierte Nettozuwanderung rund 7,5 Mio. Personen. Dabei ist ein allmählicher Anstieg des Saldos aus Zuzügen und Fortzügen über die Grenzen Deutschlands auf 200.000 Personen bis zum Jahr 2020 unterstellt. Nach 2020 bleibt der Saldo konstant. Im Ergebnis werden für das Jahr 2050 etwa 75,4 Mio. Einwohner in Deutschland prognostiziert.

- Das BIP-Wachstum wird langfristig entscheidend durch die Entwicklung des Arbeitskräftepotenzials geprägt, das seinerseits u.a. von der Anzahl der Personen im Erwerbsalter abhängt. Als Folge der abnehmenden und alternden Bevölkerung verringert sich die Anzahl der Personen im Erwerbsalter zwischen 2025 und 2050 um rund 8 Mio. Trotz einer steigenden Erwerbsquote geht das Arbeitskräftepotenzial deutlich zurück. Dies beschränkt das BIP-Wachstum im Zeitraum 2025 bis 2050 bei einer um 1,1 % p.a. steigenden Erwerbstätigenproduktivität auf 0,9 % p.a.
- Die Entwicklung der deutschen Exporte und Importe orientiert sich an der globalen Außenhandelsaktivität, die ihrerseits vom Wachstum der Weltwirtschaft und der einzelnen Regionen bestimmt wird. Das Referenzszenario basiert auf der Annahme, dass mit der globalen Bevölkerungszunahme und dem Wachstum der Weltwirtschaft eine weitere Expansion des Welthandels verbunden ist. Gegenüber der Entwicklung in der Vergangenheit schwächen sich die Zuwachsraten der deutschen Exporte und Importe ab. Gründe hierfür sind zum einen das langsamere Wachstum der Weltwirtschaft, zum anderen langfristig steigende Transportkosten.

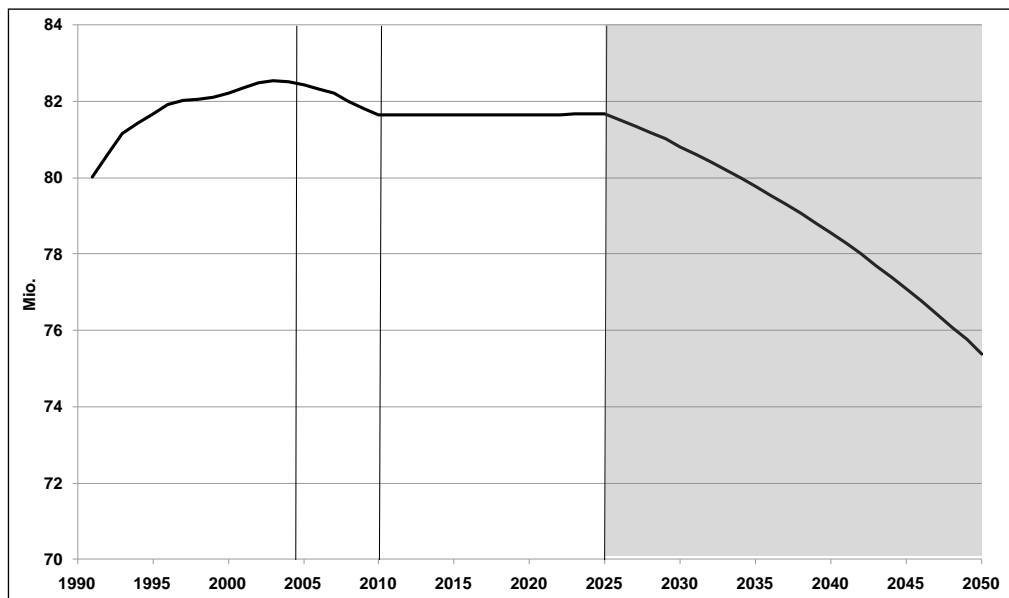
(3) Die sich aus diesen Annahmen ergebende zeitliche Entwicklung der sozioökonomischen Rahmendaten zeigen die Abbildung 1 und Abbildung 2 sowie die Tabelle 1.

Abbildung 1: BIP, Export und Import 1991-2050, real in Preisen von 2000, in Mrd. EUR<sub>2000</sub>



Quelle: [3], [5], eigene Berechnungen; eigene Darstellung

Abbildung 2: Entwicklung der Bevölkerung 1991-2050, in Mio.



Quelle: [2]: Variante 1-W2 ; eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Tabelle 1: Sozioökonomische Rahmendaten 1991-2050, BIP, Export und Import in Mrd. EUR<sub>2000</sub>, Bevölkerung in Mio.

Absolutwerte	Einheit	1991	2004	2010	2020	2025	2050
BIP	Mrd EUR <sub>2000</sub>	1.761	2.109	2.248	2.759	3.014	3.757
Export	Mrd EUR <sub>2000</sub>	413	863	1.141	1.771	2.086	2.983
Import	Mrd EUR <sub>2000</sub>	411	768	1.019	1.423	1.625	2.378
Bevölkerung	Mio	80,0	82,5	81,7	81,7	81,7	75,4
Veränderungsraten		1991-2004	2004-2010	2010-2025	2025-2050	2004-2050	
BIP	% p.a.		1,4	1,1	2,0	0,9	1,3
Export	% p.a.		5,8	4,8	4,1	1,4	2,7
Import	% p.a.		4,9	4,8	3,2	1,5	2,5
Bevölkerung	% p.a.		0,2	-0,2	0,0	-0,3	-0,2

Quelle: [2], [5]: Variante 1-W2; die Angaben für 2010 sind Schätzwerte, eigene Berechnungen

## 3 Verkehrsentwicklung zum Referenzszenario

### 3.1 Einführung und Vorbemerkung

(1) Die Verkehrsnachfrageentwicklungen im Personen- und Güterverkehr bilden eine der entscheidenden Grundlagen des Referenzszenarios zur Entwicklung der Treibhausgas(THG)-Emissionen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden dabei ausschließlich Emissionen von CO<sub>2</sub>, dem bei weitem bedeutendsten Treibhausgas behandelt. Die Verkehrsnachfrageentwicklungen werden ihrerseits maßgeblich von den zuvor kurz vorgestellten sozioökonomischen Entwicklungen geprägt.

(2) In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von Prognosen der langfristigen Verkehrsentwicklung erarbeitet, darunter drei im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Es handelt sich dabei um zwei Langfristprognosen zur Entwicklung der Personen- und Güterverkehrsnachfrage bis zum Jahr 2050 aus den Jahren 2006 bzw. 2007 ([10], [13]) sowie um die „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025“ („Verflechtungsmatrix 2025“) [5] aus dem Jahr 2007.

(3) Um die Kompatibilität mit den anderen Arbeiten des BMVBS zu gewährleisten, wurde für die vorliegenden Arbeiten für den Zeitraum bis 2025 die „Verflechtungsmatrix 2025“ zugrunde gelegt. Für den Zeitraum 2025 bis 2050 wurde dies durch eigene Arbeiten von ProgTrans/Prognos ergänzt. Da es seit Fertigstellung der Prognose 2025 Hinweise darauf gibt, dass die zukünftigen Steigerungsraten der Verkehrsleistungen im Personen- wie im Güterverkehr moderater als dort angenommen ausfallen könnten, wurde bei der Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Endenergieverbrauchs analog zur Überprüfung des „Bedarfsplans Schiene“ zusätzlich eine Variante „Referenz minus 15%“ berechnet, bei der die Personen- und Güterverkehrsleistungen um 15% unter dem errechneten Werten für die Jahre 2025 und 2050 liegen.

(4) Für den Zeitraum 1991 bis 2025 ergibt sich das verkehrliche Mengengerüst wie folgt: Sämtliche maßgebenden Zeitreihen der Verkehrsnachfrageentwicklung und ihrer sozioökonomischen Bestimmungsfaktoren wurden ab 1991 bis zum Jahr 2010 aus den verfügbaren statistischen Quellen ergänzt, wobei die Angaben für 2010 teilweise vorläufig, teilweise auch Schätzwerte sind (Redaktionsschluss für die Arbeiten war die Jahresmitte 2011). Anschließend wurden die Entwicklungen zwischen den jeweiligen Basiswerten für das Jahr 2010 und den entsprechenden Prognosewerten für das Jahr

2025 linear interpoliert und daraus der Wert des Jahres 2020 bestimmt, das im Rahmen der vorliegenden Untersuchung das erste der beiden Eckjahre der zukünftigen Entwicklung darstellt. Bezüglich des weiteren Entwicklungsverlaufs zwischen den Jahren 2025 und 2050 wurden von Seiten des BMVBS keine Vorgaben gemacht. Daher wurden die Verkehrsentwicklungsprojektionen ab 2025 im Rahmen der vorliegenden Untersuchung auf Basis der in Kapitel 2 dargestellten Leitdatenentwicklungen von 2025 bis 2050 völlig neu erarbeitet, ebenfalls unter Berücksichtigung der aktuellsten Erkenntnisse und Verkehrsentwicklungen bis zum Jahr 2010. Die Projektionen zu den verkehrlichen Entwicklungen orientieren sich an internen Langfristprognosen der ProgTrans AG, die im Anschluss an die Erarbeitung der World Transport Reports 2010/2011 [9] im Sommer 2010 erstellt worden sind (die World Transport Reports 2010/2011 selbst weisen wie die Verflechtungsprognosen nur Prognosen bis zum Jahr 2025 aus). Die Langfristprojektionen gehen generell davon aus, dass langfristige Entwicklungen in hoch entwickelten Volkswirtschaften Sättigungstrendverläufen folgen, also sukzessiv abnehmende jährliche Wachstumsraten aufweisen. Die Projektionen basieren in der Regel auf ökonomischen Trendfortschreibungen bzw. Extrapolationen von „Intensitäten“ mittels Regressionsanalysen, deren Ergebnisse generell kritisch geprüft und bei Bedarf angepasst wurden.

(5) In einer separaten Variante „Referenz minus 15 %“ wurden CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch auf Basis einer um 15 % reduzierten Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr ermittelt. Eine Szenario-Begründung und -Quantifizierung liegt diesen Berechnungen nicht zugrunde.

(6) Im Rahmen der Untersuchungen waren ergänzend auch die Entwicklungen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Seeverkehr bis zum Jahr 2050 abzuschätzen. Die entsprechenden Grundlagenarbeiten und Ergebnisse werden am Ende von Kapitel 3.3 behandelt.

## 3.2 Personenverkehr

(1) Entsprechend der einleitend erwähnten Vorgaben des Auftraggebers wurde die verkehrliche Entwicklung für das Jahr 2004 sowie für 2025 aus der „Verflechtungsmatrix 2025“ übernommen [5]. Die Angaben zur Verkehrsnachfrage 2004 entsprechen einerseits nicht immer dem heutigen Stand statistischer Abgrenzungen<sup>3</sup> und weichen andererseits geringfügig von den

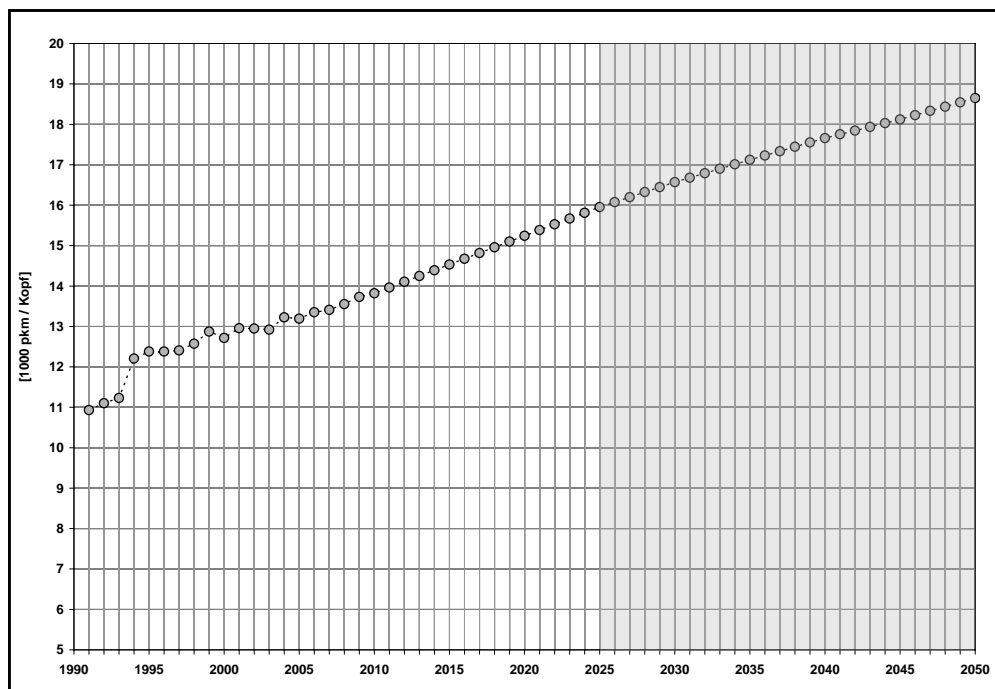
---

<sup>3</sup> Dies bedeutet beispielsweise für den Pkw-Bestand, der für die CO<sub>2</sub>-Berechnung relevant ist, dass entsprechend der „Verflechtungsmatrix 2025“ noch die vorübergehend abgemeldeten Fahrzeuge ent-

Werten für 2004 aus aktuell veröffentlichten Statistiken wie z.B. „Verkehr in Zahlen 2009/2010“ [4] ab. Die Personenverkehrsdaten ab 1991 wurden anhand der Ausgabe „Verkehr in Zahlen 2009/2010“ [4] ergänzt.

(2) Die Abschätzung der Entwicklung der gesamtmodalen Personenverkehrsleistung bis 2050 orientiert sich vor allem an den durch die „Verflechtungsmatrix 2025“ vorgegebenen Trends bis 2025 und schreibt diese unter Berücksichtigung von Sättigungseffekten und der Entwicklung der Bevölkerung sowie des demographischen Wandels bis 2050 fort. Hieraus ergibt sich die Entwicklung der „spezifischen Personenverkehrsleistung“ (Dimension: „Personenkilometer mit motorisierten individuellen und öffentlichen Verkehrsmitteln auf deutschen Verkehrswegen sowie im Luftverkehr über Deutschland je Einwohner und Jahr“) bis 2050 (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Entwicklung der gesamtmodalen Personenverkehrsleistung pro Kopf 1991-2050



Quelle: [4], [5], [7], [12], eigene Berechnungen; eigene Darstellung, Luftverkehr inkl. internationalem Verkehr

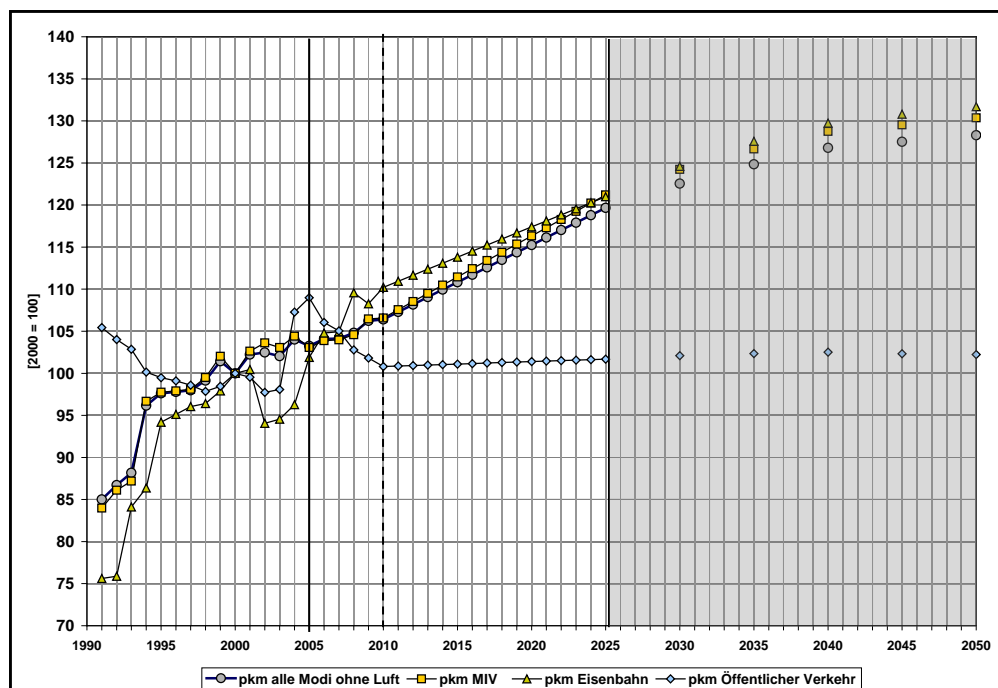
(3) Auf Basis der Entwicklung der gesamtmodalen spezifischen Personenverkehrsleistungen (pro Kopf) wurde in Verbindung mit den Bevölkerungsprognosen die Entwicklung der gesamtmodalen absoluten Personenver-

---

halten sind. Seit dem 1.1.2008 berichtet das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) den Pkw-Bestand ohne die vorübergehend abgemeldeten Fahrzeuge, deren Anteil am Gesamtbestand im Durchschnitt der 2000er Jahre 10% ausmachte. Als Konsequenz der o.g. Vorgabe enthält unser Verkehrsmengengerüst den Pkw-Bestand einschließlich der vorübergehend abgemeldeten Fahrzeuge.

kehrleistungen bis zum Jahr 2050 bestimmt. Anschließend erfolgte in Ermangelung befriedigender mathematischer Modelle zur Bestimmung der Modalsplit-Entwicklung in einem zweistufigen Top-Down-Ansatz zunächst die Aufteilung der Luft- und Landverkehrsleistungen. Dazu wurde die Entwicklung im Luftverkehr mittels einer trendmäßigen Fortschreibung der Intensitäten (Quotient aus Luftverkehrsleistung und der Bevölkerungsentwicklung) abgeschätzt. Anschließend erfolgte die Aufteilung der (verbleibenden) landseitigen Verkehrsleistungen auf die verschiedenen Verkehrsträger mittels einer trendmäßigen Fortschreibung der Vergangenheitsentwicklung des Modalsplits. Die Entwicklungen sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 4: Indexreihen der Entwicklung der Personenverkehrsleistung (ohne Luftverkehr) 1991-2050 (2000=100)



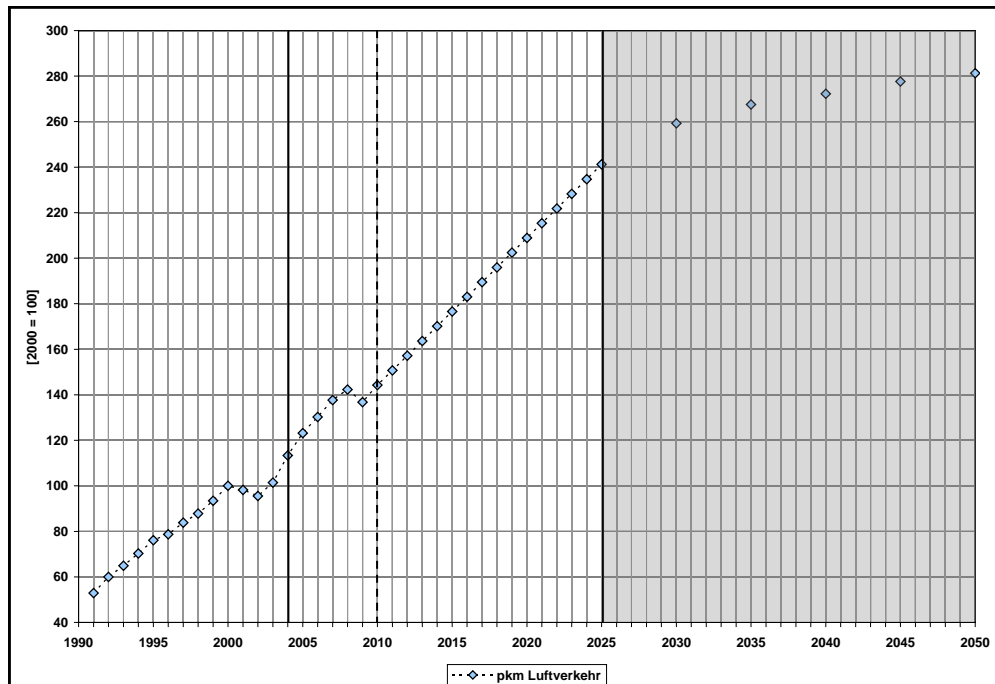
Quelle: [4], [5], [7], [12], eigene Berechnungen; eigene Darstellung

(4) Die Entwicklung im Personenverkehr ist stark durch das Wachstum des Luftverkehrs geprägt. Das dynamische Wachstum im Luftverkehr im Vorhersagezeitraum resultiert im Wesentlichen aus dem vorgegebenen Trend 2004 bis 2025 (3,6 % p.a). Die Abschätzung der Entwicklung ab 2025 bis 2050 folgt immer noch einem Wachstumspfad, verläuft allerdings weniger dynamisch als zuvor (0,6 % p.a.), weil sie sich vor allem an der trendmäßigen Entwicklung bis zum Jahr 2025 orientiert, die auf Basis der Entwicklungen bis zum Jahr 2010 erwartet werden kann und flacher verläuft, als dies mit der „Verflechtungsmatrix 2025“ prognostiziert worden war. Das starke Wachstum wird im Wesentlichen durch den internationalen Luftverkehr getragen, ge-



prägt insbesondere durch eine deutliche Zunahme der Geschäftsflüge infolge der Globalisierung sowie der Urlaubsreisen. Die Zunahme der Urlaubsreisen wird durch den demographischen Wandel begünstigt. Auch weiter wachsende Angebote der Low Cost Carrier zu den attraktiven nationalen und internationalen Reisezielen erzeugen eine steigende Nachfrage.

Abbildung 5: Indexreihe der Entwicklung der Verkehrsleistung im Luftpassagierverkehr 1991-2050 (2000=100)



Quelle: [4] [5], [7], eigene Berechnungen; eigene Darstellung, Luftverkehr inkl. internationalem Verkehr

(5) Der Zuwachs im Motorisierten Individualverkehr trotz sinkender Bevölkerung resultiert aus einer kontinuierlich wachsenden spezifischen Verkehrsleistung im MIV. Diese kann u.a. mit dem demographischen Wandel und veränderten Pkw-Nutzungsgewohnheiten begründet werden. Die Altersgruppe ab 60 Jahren, deren Anteil an der Gesamtbevölkerung ständig zunimmt ([5], S. 4), nutzt das Auto einerseits zur Ausübung von Freizeitaktivitäten; andererseits wird das Auto zur Kompensation von Fußwegen aufgrund gesundheitlicher Einschränkungen benötigt. Darüber hinaus gibt es die Gruppe der Betagten, die sich nicht vollständig selbst versorgen können, sondern auf kommerzielle Hol- und Bringdienste sowie mobile Pflegedienste angewiesen sind. Das Verkehrsleistungswachstum von 0,7 % p.a. zwischen 2004 und 2025 gemäß der „Verflechtungsmatrix 2025“ wird sich nach 2025 durch die immer stärker rückläufige Bevölkerung der Sättigung nähern und zwischen 2025 und 2050 „nur“ noch um 0,3 % p.a. ansteigen.

(6) Der starke Ausbau von schnellen Fernverkehrsverbindungen sowie die Umsetzung der Eisenbahnpakete beschleunigen vor allem mittelfristig die Entwicklung des Schienenpersonenverkehrs. Der Eisenbahnverkehr wird auch langfristig weiter wachsen, allerdings weniger stark als von 2004 bis 2025 (1,1 % p.a.). Im Zeitraum von 2004 bis 2050 wird der Personenverkehr mit Eisenbahnen eine u.a. demographisch bedingte Sättigung erfahren und im Betrachtungsraum 2004 bis 2050 insgesamt nur noch um 0,7 % p.a. ansteigen.

(7) In der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 wird von einem rückläufigen Trend bei der Entwicklung der Verkehrsleistungen des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs (Verkehr mit Bussen, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen) von Minus 0,2 % p.a. zwischen 2004 und 2025 ausgegangen. Wir rechnen damit, dass sich dieser Trend aufgrund der fortschreitenden Re-Urbanisierungsprozesse verlangsamen wird und es langfristig zu einer Stagnation kommen wird; im Zeitraum 2025-2050 wird der Verkehr dementsprechend jährlich „nur“ noch um 0,02 % „wachsen“.

(8) Insgesamt wird die Personenverkehrsleistung zwischen 2004 und 2050 um 0,6 % p.a. ansteigen (im Vergleich zur Vorgabe von 0,8 % p.a. zwischen 2004 und 2025). Die Entwicklung des Personenverkehrs bis 2050 ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

*Tabelle 2: Referenzszenario: Entwicklung der Personenverkehrsleistungen nach Verkehrszweigen bis 2050 (in Mrd. Pkm/Jahr)*

Absolutwerte in Mrd. Pkm / Jahr	1991	2004	2010	2020	2025	2050
Eisenbahn	57,0	72,6	83,1	88,5	91,2	99,3
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr	81,6	82,7	78,0	78,5	78,7	79,1
Luftverkehr	22,6	48,7	61,6	89,2	103,0	120,1
Motorisierter Individualverkehr	713,5	887,4	905,5	988,3	1.029,7	1.107,6
Verkehr insgesamt	874,7	1.091,4	1.128,2	1.244,5	1.302,6	1.406,1
Veränderungsraten in % p.a.	1991-2004		2004-2025	2025-2050	2004-2050	1991-2050
Eisenbahn	1,9		1,1	0,3	0,7	0,9
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr	0,1		-0,2	0,0	-0,1	-0,1
Luftverkehr	6,1		3,6	0,6	2,0	2,9
Motorisierter Individualverkehr	1,7		0,7	0,3	0,5	0,7
Verkehr insgesamt	1,7		0,8	0,3	0,6	0,8

Quelle: [4], [5], [7], [12], die Angaben für 2010 sind Schätzwerte; eigene Berechnungen; Luftverkehr inkl. internationalem Verkehr

### 3.3 Güterverkehr

(1) Die Vorgehensweise zur Projektion der Güterverkehrsleistungen ist ähnlich wie diejenige beim Personenverkehr: Zunächst wurden die relevanten Zeitreihen (beginnend bei 1991) bis zum Jahr 2010 aktualisiert, wobei die Werte für 2010 teilweise wiederum vorläufig bzw. Schätzwerte sind; anschließend wurden die einzelnen Reihen für den Zeitraum 2010 bis 2025 durch Interpolation „aufgefüllt“ und das erste Prognosejahr 2020 daraus abgeleitet (Redaktionsschluss für die Arbeiten war ebenfalls die Jahresmitte 2011). Zur Langfristprojektion wurden auch im Güterverkehr gesamtmodale Verkehrsleistungskennziffern als „Intensitäten“ herangezogen und trendmäßig fortgeschrieben. Für die gesamtmodalen Prognosen bzw. Projektionen der Güterverkehrsleistungen auf deutschen Straßen, Schienen und Binnenwasserwegen sowie im deutschen Luftraum wurde generell angenommen, dass in der Differenzierung nach Hauptverkehrsrelationen ein Rückgang der Transportintensitäten auftritt, wobei wir als die „richtigen“ Kennziffern des Zusammenhangs zwischen Wirtschafts- und Güterverkehrsleistung die „Binnenverkehrsintensität“ (als Quotient aus Binnenverkehrsleistung und realer Inlandsversorgung), die „Exportintensität“ (als Quotient aus grenzüberschreitender Versandverkehrsleistung und realen Exporten), die „Importintensität“ (als Quotient aus grenzüberschreitender Empfangsverkehrsleistung und realen Importen) sowie die „Transitverkehrsintensität“ (als Quotient aus Transitverkehrsleistung und dem realen Außenhandel der Nachbarländer) betrachten. Die weiter unten dargestellte „pauschale“ Transportintensität als Quotient aus der gesamten Verkehrsleistung und dem Bruttoinlandsprodukt dient alleine zur Veranschaulichung der Entwicklung in einer einzigen Abbildung. Einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen gibt es nach unseren Erkenntnissen nicht.

(2) Der Ansatz der nach Hauptverkehrsrelationen differenzierten Langfristprojektionen basierte auf dem Stützbereich 1991 bis 2009. Für jede Hauptverkehrsrelation erfolgte eine Fortschreibung der oben spezifizierten Intensitäten mittels Regressionsanalysen (über die Zeit). Getestet wurden immer lineare, loglineare und doppeltlogarithmische Ansätze. Die Ergebnisse unterscheiden sich je nach gewähltem Funktionstyp bisweilen relativ stark, und das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) weist nicht immer eine befriedigende Signifikanz auf. Daher wurden die Ergebnisse der ökonometrischen Schätzansätze meistens nur als eine erste Orientierung herangezogen und anschließend nahezu immer auf der Basis qualitativ-argumentativer Erwägungen „händisch“ angepasst. Die Projektionsresultate ergeben sich anschließend durch die Multiplikation der in die Zukunft fortgeschriebenen Intensitäten mit den dazugehörigen Leitdatenvorhersagen.

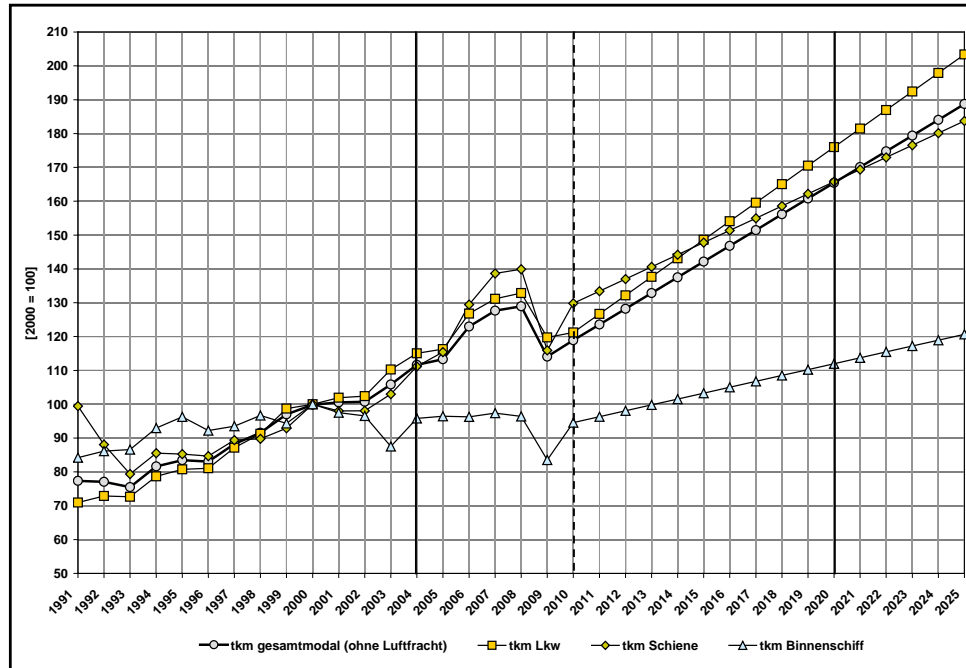
(3) Die im Modell zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erforderlichen Projektionen zu weitergehenden verkehrlichen Kennziffern – teilweise Aufgliederungen der Verkehrsleistungsdaten, ergänzend Projektionen zu den Fahr- und Betriebsleistungen auf Schiene und Straße sowie zu den Verkehrsmittelbeständen im Straßengüterverkehr – wurden durch Fortschreibung der entsprechenden Entwicklungen gemäß „Verflechtungsmatrix 2025“ [5] (dies betrifft vor allem die Modalsplit-Entwicklung im bodengebundenen Güterverkehr) bzw. durch Fortschreibung von Kennziffernentwicklungen aus der Vergangenheit (der Jahre 1991 bis 2010) mittels Trendextrapolation gewonnen. Die Projektionen der Verkehrsmittelbestände bildeten dabei das letzte Resultat in der Sequenz der Herleitung von Lkw-Fahrleistungen aus den Lkw-Verkehrsleistungen über die Entwicklung der entfernungsgewichteten Beladung von Lkw sowie von Lkw-Beständen aus den Lkw-Fahrleistungen über die Entwicklung der durchschnittlichen Jahresfahrleistungen von Lkw. Die Straßengüterverkehrsleistungen wurden dazu erstens nach Lkw aus dem In- und Ausland und zweitens für die inländischen Lkw außerdem nach zwei Entfernungsklassen (Fernverkehr, Regional-/Nahverkehr gemäß Abgrenzung der deutschen Güterkraftverkehrsstatistik) getrennt betrachtet; solche Differenzierungen sind in den Verflechtungsprognosen 2025 nicht dokumentiert, wurden aber für die differenzierte Modellierung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung benötigt.

(4) Im Unterschied zum Personenverkehr wurden bei der Datenaktualisierung im Güterverkehr auch die Korrekturen für das Jahr 2004 durchgeführt, die sich aus neueren statistischen Publikationen ergeben, weil dabei für die Abweichungen keine definitorischen Änderungen ausschlaggebend waren, sondern „nur“ eine Korrektur vorläufiger Werte. Dies betrifft vor allem den Straßengüterverkehr, dessen Verkehrsleistung des Jahres 2004 heute um 1,5 % höher ausgewiesen wird als in der „Verflechtungsmatrix 2025“. Nicht berücksichtigt wurden hingegen die jüngsten Revisionen der Angaben zu den Verkehrsleistungen ausländischer Lkw in „Verkehr in Zahlen 2010/2011“ ab dem Jahr 2007, wodurch sich das Wachstum dieses Segments alleine zwischen 2004 und 2008 von ursprünglich gut 30 % („Verkehr in Zahlen 2009/2010“ [4], S. 245) auf neu gut 20% („Verkehr in Zahlen 2010/2011“ [68], S. 245) reduziert hat. In Kenntnis dieser Korrektur wären die Verflechtungsprognosen 2025 für das Jahr 2025 mit großer Wahrscheinlichkeit deutlich niedriger ausgefallen.

(5) Die Ergebnisse der Datenergänzung bis zum Jahr 2010 (ohne die angesprochene Korrektur der Verkehrsleistungen ausländischer Lkw) sowie die Prognosepfade bis zum Jahr 2025 gemäß „Verflechtungsmatrix 2025“ sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Entwicklungen sollen hier nicht kommentiert

werden. Ein paar grundsätzliche Anmerkungen folgen im nächsten Abschnitt (vgl. Kapitel 3.4).

Abbildung 6: Indexreihen der Güterverkehrsleistungsentwicklung nach Verkehrsträgern (ohne Luftfrachtverkehr) 1991-2025 (2000=100)



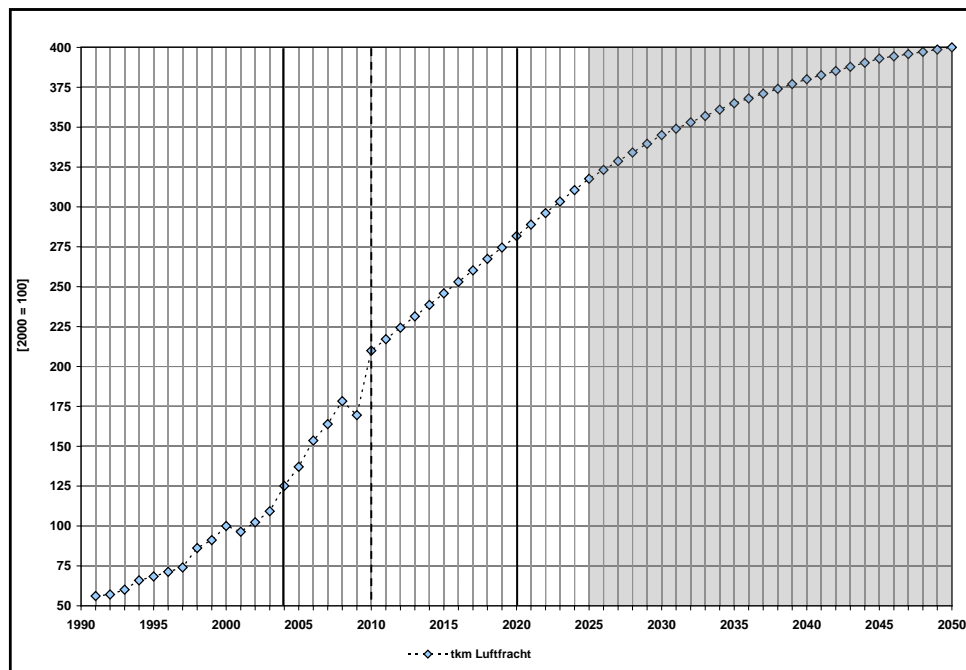
Quelle: [4], [5], [7], [8], [12], eigene Berechnungen auf Basis der Verflechtungs-Prognosen [5]; eigene Darstellung, Luftverkehr inkl. internationalem Verkehr

(6) Für die Entwicklung des Luftverkehrs liegen aus der Verflechtungsmatrix 2025 ebenfalls Prognosen vor. Die Langfristprojektionen wurden über eine Trendfortschreibung auf Basis der Schätzung einer Gompertz-Funktion - also einer Funktion des Typs „ $y = a + c \cdot \exp(-\exp(-b \cdot (x - d)))$ “ - erstellt und anhand der „Außenhandelsintensität“ der Luftfrachtverkehrsleistung abgestimmt. Die Ergebnisse der Langfristprojektionen zur Entwicklung der Luftfrachtverkehrsleistungen bis zum Jahr 2050 sind in Abbildung 7 dargestellt.

(7) Die Fortschreibung der Verkehrsleistungsentwicklung für die Güterverkehrsnachfrage der Landverkehrsträger von 2025 bis 2050 erfolgte – wie zuvor bereits angesprochen – über einen gesamtmodalen Ansatz, bei dem die gesamtmodale Transportintensität fortgeschrieben und anschließend eine trendmäßige Aufteilung der Verkehrsleistung auf die Verkehrsträger vorgenommen wurde. Aus grundsätzlichen Erwägungen bevorzugen wir dabei einen nach Hauptverkehrsrelationen differenzierten Prognoseansatz, weil erst dieser die Besonderheiten bzw. Unterschiede der Entwicklungen in den

einzelnen Hauptverkehrsrelationen (Binnenverkehr, grenzüberschreitender Versand und Empfang, Transitverkehr) zutage treten lässt und bei der Prognose die unterschiedlichen Entwicklungen der Leitdaten (Inlandsversorgung, Export, Import, Außenhandel der Nachbarländer) angemessen zu berücksichtigen ermöglicht. Die entsprechenden Datendifferenzierungen der „Verflechtungsmatrix 2025“ nach Hauptverkehrsrelationen liegen im Bericht allerdings nur für die beiden Jahre 2004 und 2025 vor. Wir haben uns daher auf internen Prognosen, die auf einer Fortschreibung entsprechender Prognosen der World Transport Reports 2010/2011 nach Hauptverkehrsrelationen mit den weiter oben beschriebenen Verfahren basieren, abgestützt und zur Kontrolle die Abschätzung der Trendentwicklungen ab 2025 bis zum Jahr 2050 anhand der (bezüglich der Hauptverkehrsrelationen) „pauschalen“ Verkehrsleistungsintensität im Verhältnis zum BIP überprüft. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 7: Indexreihe der Luftfrachtverkehrsleistungsentwicklung 1991-2050 (2000=100)

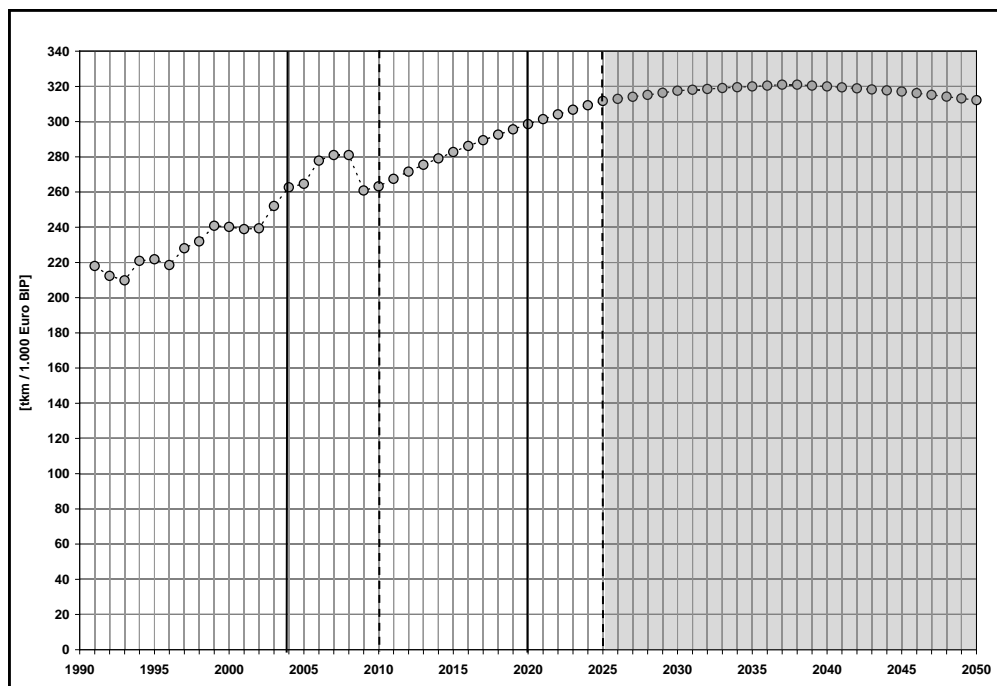


Quelle: [4],[5]; eigene Berechnungen, bis 2025 auf Basis der Verflechtungs-Prognosen [5], eigene Darstellung; Luftverkehr inkl. internationalem Verkehr

(8) Dass diese Entwicklung ab dem Jahr 2025 stagniert bzw. sogar langfristig ganz leicht rückläufig sein wird, drängt sich bei Betrachtung von Abbildung 8 nicht unmittelbar auf, wenn man die Ergebnisse der Verflechtungsmatrix 2025 als Trendprognosen betrachtet. Allerdings scheint der Prognosewert für 2025 für eine Trendprognose auch schon recht hoch zu liegen, wenn man bedenkt, dass bis zu diesem Jahr die sozioökonomischen Leitda-

tenentwicklungen nicht korrigiert wurden. Eine Überprüfung der Projektionen ab 2025 auf der Basis einer Transportintensität, bei der anstelle des pauschalen BIP die Summe aus Inlandsversorgung, Exporten und Importen herangezogen wird und bei der die Verflechtungsprognose für das Jahr 2025 gegenüber 2004 auch bereits eine rückläufige Entwicklung aufzeigt, deutet jedenfalls darauf hin, dass die Transportintensitäten langfristig (weiter) rückläufig sein sollten.

Abbildung 8: Entwicklung der gesamtmodalen pauschalen Transportintensität 1991-2050 (tkm/1.000 Euro BIP in Preisen von 2000)



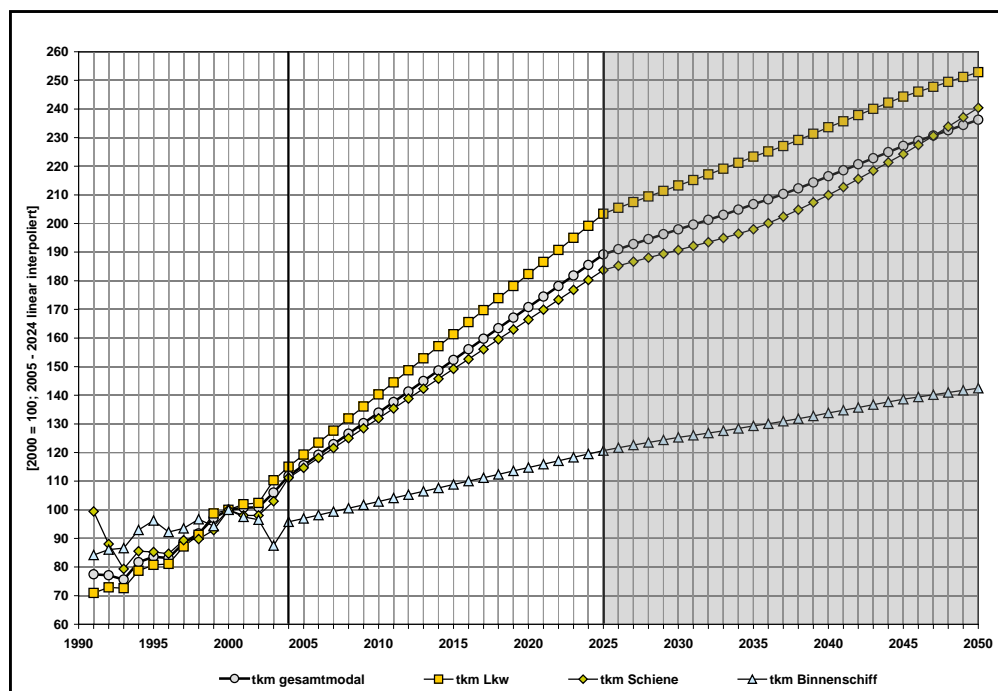
Quelle: [4], [5],[7], [8], [11], eigene Berechnungen; eigene Darstellung

(9) Die Aufteilung der prognostizierten Verkehrsleistungen auf die drei Landverkehrsträger ab dem Jahre 2025 erfolgte pauschal (also für die Gesamtheit der Hauptverkehrsrelationen). Dabei waren die Entwicklungen bis zum Jahr 2025 durch die Verflechtungsmatrix 2025 bereits vorgegeben. Die Fortschreibung der Modalsplit-Entwicklung erfolgte wiederum unter Berücksichtigung der internen Langfristprojektionen mittels Trendextrapolation sowie mit anschließenden qualitativ-argumentativ begründeten Anpassungen. Dazu ist anzumerken, dass schon die Prognosen bis 2025 gemäß „Verflechtungsmatrix 2025“ keine „linearen“ Trendfortschreibungen sind, wie Abbildung 6 verdeutlicht. Dies war auch nicht die Absicht der Prognostiker, wie aus dem Bericht hervorgeht, denn es gibt angebots- wie nachfrageseitig viele Einflüsse auf die Modalsplit-Entwicklung, die andere als lineare Trendfortschreibungen wahrscheinlich erscheinen lassen.

(10) Dass auch die langfristige Fortschreibung der Prognosen zum Güterverkehr im Rahmen der vorliegenden Untersuchung von einer Trendumkehr bei den Marktanteilsverlusten der Schiene ausgeht, ist letztlich aber nicht nur eine Fortschreibung der Annahmen der Verflechtungsmatrix 2025, sondern auch das Resultat der Vorgabe für die vorliegende Untersuchung, bereits beschlossene, aber noch nicht voll wirksame Maßnahmen in das Referenzszenario zu integrieren. Da wir davon ausgehen, dass die Wirkungen der bereits beschlossenen „Eisenbahnpakete“ der EU erst längerfristig voll eintreten, werden diese Effekte erst später (als bis zu den Jahren 2010/2011) wirksam. Dieser angebotsseitige Effekt wird noch durch nachfrageseitige neue Güterstruktureffekte zugunsten der Schiene – partiell auch der Binnenschifffahrt – gestützt, insbesondere durch die zunehmende Containerisierung lang laufender grenzüberschreitender Güterverkehre.

(11) Das Ergebnis unserer Prognosefortschreibungen der Güterverkehrsleistungen im bodengebundenen Güterverkehr ist – in Analogie zu Abbildung 6 – aus Abbildung 9 ersichtlich. In dieser Abbildung sind – im Unterschied zu

Abbildung 9: Indexreihen der Güterverkehrsleistungsentwicklung nach Verkehrsträgern 1991-2025 (2000=100)



Quelle: [4], [5], [7], [8], [12], eigene Berechnungen; eigene Darstellung

Abbildung 6 – nicht die tatsächlichen Entwicklungen bis zum Jahr 2010 dargestellt, die den Prognostikern nicht bekannt waren und daher ebenso wenig Bestandteil ihrer Prognosen sein konnten wie die weiter oben angesproche-



nen Datenrevisionen zur Verkehrsleistung ausländischer Lkw aus dem Jahr 2011, sondern sie sind durch eine lineare Interpolation zwischen den Jahren 2004 und 2025 als Basis- bzw. Zieljahr der Prognosen ersetzt. Auf diese Weise wird deutlich, dass die Prognosefortschreibung ab 2025 weitgehend auf einer sukzessiven Reduktion der Wachstumsraten basiert, die vor allem daraus resultiert, dass sich langfristig das mit der Globalisierung der deutschen Außenwirtschaft einhergehende Verkehrswachstum vor allem außerhalb der Grenzen Deutschlands vollziehen wird.

(12) Die zahlenmäßige Entwicklung des Güterverkehrs bis 2050 ist in Tabelle 3 zusammengefasst.

*Tabelle 3: Referenzszenario: Entwicklung der Güterverkehrsleistungen nach Verkehrsträgern bis 2050 (in Mrd. tkm/Jahr; durchschnittliche jährliche Veränderungen in % p.a.)*

Absolutwerte in Mrd. tkm/Jahr	1991	2004	2010	2020	2025	2050
Straßengüterverkehr	245.7	398.4	419.7	609.4	704.3	875.7
Schienengüterverkehr	82.2	91.9	107.3	137.0	151.9	198.8
Binnenschiffsverkehr	56.0	63.7	62.9	74.4	80.2	94.7
Luftfrachtverkehr	0.4	1.0	1.6	2.2	2.4	3.1
Güterverkehr insgesamt	384.3	554.9	591.5	823.1	938.8	1'172.3
Veränderungsraten in % p.a.	1991-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1991-2050	
Straßengüterverkehr		3.8	2.8	0.9	1.7	2.2
Schienengüterverkehr		0.9	2.4	1.1	1.7	1.5
Binnenschiffsverkehr		1.0	1.1	0.7	0.9	0.9
Luftfrachtverkehr		6.4	4.5	0.9	2.6	3.4
Güterverkehr insgesamt		2.9	2.5	0.9	1.6	1.9

Quelle: [4], [5], [7], [8], [12], die Angaben für 2010 sind Schätzwerte; eigene Berechnungen, Luftverkehr inkl. internationalem Verkehr

Die gesamtmodale Verkehrsleistung wird gemäß diesen Prognosen bzw. Projektionen von 2004 bis 2050 um jahresdurchschnittlich 1,6 % p.a. ansteigen, und zwar von 2004 bis 2025 um 2,5 % p.a. und von 2025 bis 2050 um 0,9 % p.a.. Damit wird sich das Wachstum insgesamt relativ deutlich abflachen, wie auch Abbildung 9 zeigt. Das Wachstum der Luftfrachtverkehrsleistung verlief von 2004 bis 2010 trotz Wirtschafts- und Finanzkrise insgesamt außerordentlich dynamisch. Nach unseren Prognosen wird sich das Wachstum zusammen mit dem dahinter stehenden Mengeneffekt abschwächen, während die zweite Komponente des Verkehrswachstums, der Entfernungseffekt, sich innerhalb Deutschlands kaum noch auswirken können, denn die Flugstrecke über deutschem Gebiet ist im Vergleich zur übrigen Distanz gering und wird anteilmäßig weiter zurückgehen. Die Verflechtungsmatrix 2025 hat das stärkste Wachstum 2004 bis 2025 beim Straßengüterverkehr erwartet (2,8 % p.a.), während es beim Schienengüterverkehr geringer (2,4 % p.a.) und beim Binnenschiffsverkehr mit 1,1 % p.a. deutlich geringer eingeschätzt wurde. Unsere aus den zuvor genannten Gründen

teilweise variierten Trendfortschreibungen von 2025 bis 2050 bedeuten für den Straßengüterverkehr ein jahresdurchschnittliches Wachstum von 0,9 % p.a., während es beim Schienengüterverkehr leicht höher (1,1 % p.a.), beim Binnenschiffsverkehr mit 0,7 % p.a. aber etwas geringer ausfällt.

(13) Im Rahmen der Untersuchung wurden ergänzend auch Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs abgeschätzt. Dazu wurden als Prognosehilfsgrößen u.a. die Umschlagsmengen im Versand der deutschen Seehäfen herangezogen. Diese Abschätzungen wurden völlig unabhängig von den zuvor dargestellten verkehrlichen Entwicklungen vorgenommen und sind in ihrer verkehrlichen Dimension (Versandmengen anstelle von Transportleistungen) auch nicht mit den zuvor dargestellten Größen vergleichbar. Sie sind daher als Exkurs nachfolgend kurz dargestellt.

#### **Abschätzung der Entwicklung des Seeverkehrs, seiner CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Energieverbrauchs**

(1) *Der Seeverkehr bzw. dessen Bedeutung für den Umweltschutz haben – wie Teile des Luftverkehrs - im Rahmen der Klimaschutzdiskussion bislang eine Sonderstellung: Die Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr werden in den Emissionsinventaren nur nachrichtlich nachgewiesen, gehen aber nicht in die Gesamtemissionen ein (vgl. [88], S. 212). Der internationale Seeverkehr umfasst neben der Seeschifffahrt auch die Hochseefischerei. Die Kraftstoffverbräuche und Emissionen der deutschen Hochseefischerei werden im Treibhausinventar aber an anderer Stelle (unter „Fischerei“) aufgeführt und werden daher nachfolgend nicht berücksichtigt.*

(2) *Ziel der Untersuchungen zum Seeverkehr war, die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs für das Basisjahr 2010 sowie für die beiden Prognosejahre des Referenzszenarios, also für 2020 und 2050, in der Abgrenzung des „Nationalen Inventarbereichs Deutschland“ ([88]) abzuschätzen. Nach diesem werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des internationalen Seeverkehrs als Produkt aus den in Deutschland gebunkerten Kraftstoffen (Absatz, entsprechend Energiebilanz) und nationalen Emissionsfaktoren berechnet. Nach Energiebilanzen werden Schweröl und Diesel getrennt aufgeführt. Vom Diesel wird im deutschen Treibhausgasinventar ein „konservativ berechneter Anteil“ der deutschen Hochseeschifffahrt zugeordnet. Neuerdings werden aber auch die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe und die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen erfasst und berichtet. Diese Daten stammen aus der Publikation „Amtliche Mineralöl-daten für die Bundesrepublik Deutschland“ [82].*

(3) *Die Eingangsdaten zum Energieeinsatz des internationalen Seeverkehrs für die nachfolgenden Abschätzungen wurden vollständig aus dem Nationalen Inventarbericht 2012 entnommen (vgl. [88], Tabellen 30 und 31 auf S. 149). Verkehrliche Basisdaten sind dort allerdings nicht dokumentiert, mussten also als Grundlage der durchzuführenden Prognosen neu erarbeitet werden. Das Konzept ist in Anbetracht der (wenigen) zur Verfügung stehenden Daten vergleichsweise einfach: Die Mengen an Bunkerungen seegehender Schiffe wurden mit den Aktivitäten der Seeschifffahrt in Deutschland gemäß der Seeschifffahrtsstatistik des Statistischen Bundesamts korreliert und anschließend auf Basis einer zu diesem Zweck erstellten Trendab-*

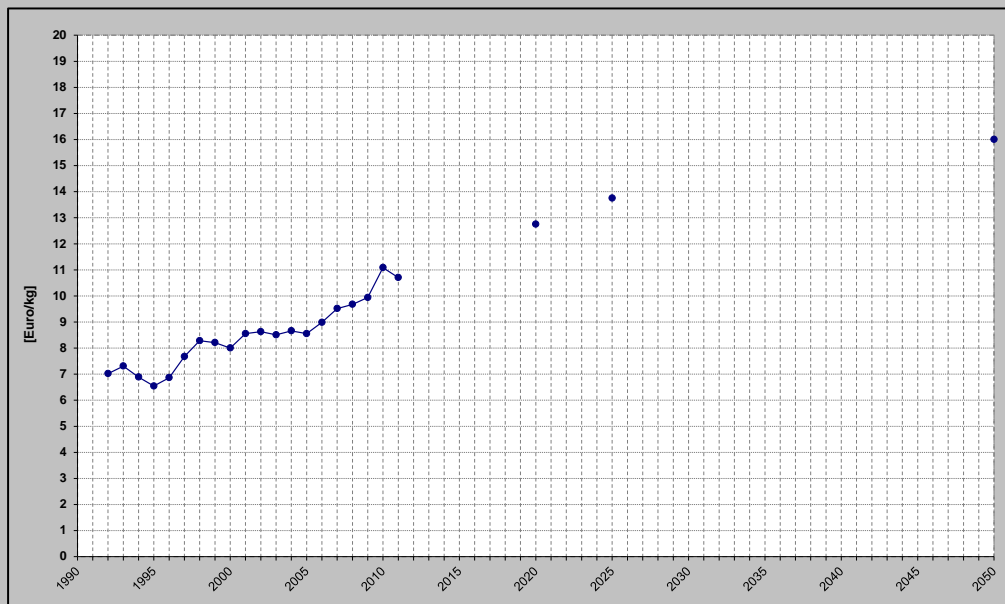
schätzung der relevanten Seeverkehrsentwicklung bis zum Jahr 2050 abgeschätzt. Als Bezugsgrößen dienten die Versandmengen im Güterumschlag deutscher Seehäfen. Ein Bezug zu den Verkehrsleistungen in der Seeschifffahrt ist nicht möglich, da diese kein Merkmal der Seeschifffahrtsstatistik darstellen. Die „Seeschifffahrtsstatistik“ stellt vielmehr im Wesentlichen eine Umschlagsstatistik für Ankünfte und Abgänge von (See-)Schiffen in Häfen dar, wenn die Fahrt ganz oder teilweise auf See stattfindet.

(4) Um die unterschiedlichen Bunkerungsmengen sowie -entwicklungen der beiden Treibstoffarten (Dieselkraftstoff, Schweröl) angemessen berücksichtigen zu können, wurden die Versandmengen der Seeschifffahrt in der Untergliederung nach Container- und sonstiger Schifffahrt getrennt betrachtet. Eine Korrelationsanalyse für die Jahre 1992 bis 2010 (vergleichbare Daten der Seeschifffahrtsstatistik liegen für die Jahre vor 1992 nicht vor) bestätigte nämlich, dass die Versandmengen der Containerschifffahrt besonders gut und statistisch hoch signifikant ( $r=0.95$ ) mit der Bunkerung von Schweröl und die Versandmengen der übrigen Schifffahrt vergleichsweise am besten (allerdings statistisch nicht signifikant) mit der Bunkerung von Dieselkraftstoff korrelieren. Dies ist nicht überraschend, weil mittlere und große Seefrachtschiffe - und in diese Kategorie fallen die meisten Containerschiffe - vor allem mit langsam laufenden Motoren ausgerüstet sind, die vornehmlich mit Schweröl betrieben werden, wobei dann auch Schmierstoffe zum Einsatz kommen. Die Dieselmotoren werden hingegen tendenziell in kleineren Schiffen (der übrigen Seeschifffahrt) eingesetzt. Da die Containerschifffahrt zunehmend die großen Frachtschiffe stellt – und weil auch keine sonstigen nach Schiffstypen differenzierten Statistiken als Zeitreihen verfügbar sind –, wird der mit Containerschiffen durchgeführte Seeverkehr also als Seeverkehr mit schwerölaffinen Schiffen und der sonstige Seeverkehr als dieselaffin betrachtet.

(5) Der erste Schritt zur Abschätzungen der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs bestand in einer Prognose der Versandmengen aus deutschen Seehäfen in den Jahren 2020 und 2050. Als Leitvariablen dienten die für das Referenzszenario entwickelten Exportprognosen (Werte in konstanten Preisen); die Prognose selbst erfolgte über die Abschätzung der als Quotient aus Exportwert und Versandmengen berechneten Wertdichten des Seeverkehrsversands (in der Dimension „Euro je Kilogramm“). Dieser Wert betrug im Jahr 1992 7,02 Euro/kg und steigerte sich mit einem verhältnismäßig linearen Verlauf auf einen Wert von 10,71 Euro/kg im Jahr 2012. Eine Fortschreibung dieser Entwicklung mit einem leicht abnehmenden (Sättigungs-)

Trend ergibt für das Jahr 2020 eine Wertdichte von 12,75 Euro/kg und für 2050 von 16,00 Euro/kg Versandmenge (siehe Abbildung). Daraus errechnet sich in Verbindung mit den Exportprognosen eine absolute Versandmenge im deutschen Seeverkehr von 139,1 Mio. Tonnen in 2020 und von 186,8 Mio. Tonnen im Jahr 2050 (gegenüber 55,5 Mio. Tonnen im Jahr 1992 und 112,5 Mio. Tonnen im Jahr 2011).

Abbildung E1: Entwicklung der Seeverkehrsversand-Wertdichten 1992-2050 (in Euro/kg)



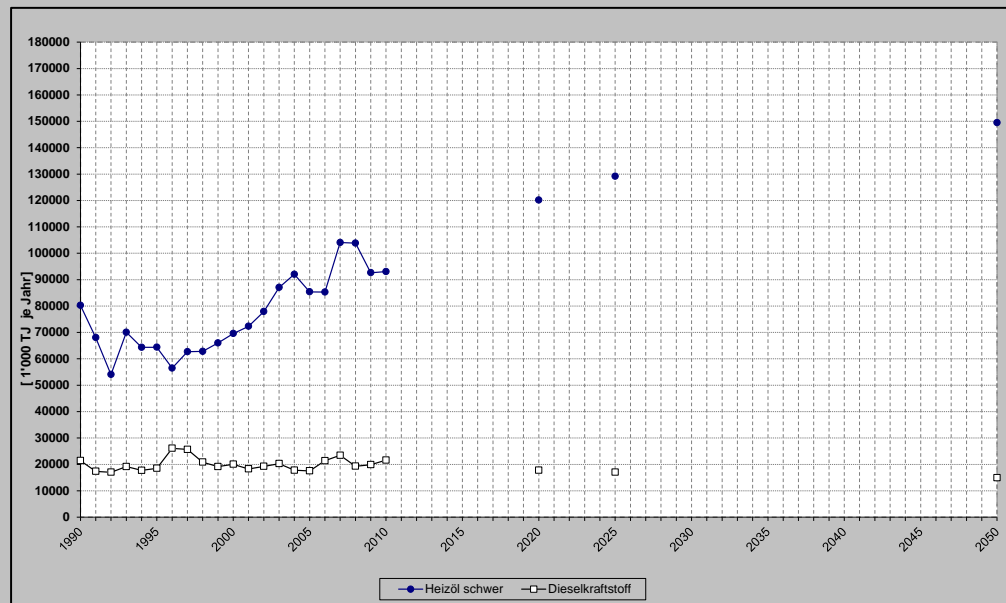
Quelle: [3], [5], [82], [87], eigene Berechnungen, eigene Darstellung

(6) Der zweite Schritt zur Abschätzungen der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs bestand in einer Aufteilung dieser Versandmenge insgesamt auf die beiden Schiffs- bzw. Versandarten, also Container- und sonstige Verkehre. Dies erfolgte mittels einer Trendfortschreibung der Anteilsentwicklungen in den Jahre 1992 bis 2011. Die Anteile des Container- am Gesamtversand in der deutschen Seeschifffahrt betragen 1992 28 %, 2005 46 % und in 2011 56%. Eine nichtlineare Trendfortschreibung mit einem Sättigungsgrenzwert von 85% führt im Jahr 2020 zu einem Containerversandanteil von 68% und in 2050 von 80 %. Daraus lassen sich die absoluten Versandmengen der beiden Versandarten berechnen.

(7) Der dritte Schritt zur Abschätzungen der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs bestand in einer Abschätzung der zukünftigen Bunkerungsmengen in den deutschen Seehäfen in der Differenzierung nach den beiden Treibstoffarten (Diesel, Schweröl). Als Prognosehilfsgrößen dienten die „Bunkerungsintensitäten“ für die beiden Treibstoffarten in der Dimension „TJ Bunkerung je 1.000 Tonnen Versandmenge“. Dabei wurde die Bunkerungsintensität für Schweröl durch den Bezug zu den Containerversandmengen und für Diesel durch den Bezug zu den sonstigen Versandmengen berechnet. Die beiden Kurven zeigen eine unterschiedliche absolute Größe und einen unterschiedlichen Verlauf. Die Bunkerungsintensitäten im Containerverkehr haben sich von rund 3,4 TJ je 1.000 t Versand im Jahr 1992 auf rund 1,7 TJ je 1.000 t Versand im Jahr 2010 zurückgebildet. Der abnehmende Verlauf bringt die auf die Transportmengen bezogenen Energieeffizienzsteigerungen der zunehmend grösser werdenden Containerschiffe zum Ausdruck; er zeigt aber eindeutig Sättigungstendenzen, die wir im Sinne einer Trendabschätzung bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben haben. Dementsprechend ergeben sich für das Jahr 2020 ein Wert von 1,28 und für das Jahr 2050 von 1,00 TJ je 1.000 t Versand. Beim Dieselmotorkraftstoff zeigt die Bunkerungsintensität deutlich niedrigere Werte, die zwischen 1992

und 2010 geringe Schwankungen um einen Mittelwert von 0,4 TJ je 1.000 t Versand aufweisen. An diesem Wert wurde auch für die beiden Prognosejahre festgehalten. Durch Multiplikation mit den entsprechenden Versandmengen ergeben sich hieraus die Bunkermengen von Diesel und Schweröl in den Jahren 2020 und 2050 (Abbildung).

Abbildung E2: Entwicklung der Bunkerungen von Schweröl und Diesel in deutschen Seehäfen absolut bis 2050 (in TJ)



Quelle: [82], [87], eigene Berechnungen, eigene Darstellung

(8) Im vierten Schritt zur Abschätzungen der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs war die Entwicklung der mitverbrannten Schmierstoffe gemäß deren Behandlung im deutschen Treibhausgasinventar zu prognostizieren. Die Mengen sind vergleichsweise gering. Sie stehen prinzipiell in einem Bezug zum Einsatz von Schweröl und wurden folglich über den Anteil an den Bunkerungen von Schweröl abgeschätzt. Diese Entwicklung ist allerdings relativ stark schwankend, weil die Inlandsablieferungen der Schmierstoffe selbst über die Jahre unabhängig vom Kraftstoffeinsatz stark schwanken, wie auch im „Nationalen Inventarbericht Deutschland – 2012“ festgestellt wird ([88], S. 149). Die Entwicklung dieser Anteilswerte weist in der Vergangenheit zwei Phasen auf: vergleichsweise höhere Werte zwischen 1990 und 2000 mit einem Mittelwert von 1,46 % und relativ niedrige Werte zwischen 2001 und 2010 mit einem Mittelwert von 0,36%. Den letztgenannten Wert haben wir für die Prognose der mitverbrannten Schmierstoffe in den Jahren 2020 und 2050 festgehalten.

(9) Der fünfte und letzte Schritt zur Abschätzungen der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Seeverkehrs bestand in der Multiplikation der Jahreswerte der drei Bunkerungszeitreihen mit den entsprechenden Emissionsfaktoren gemäß dem „Nationalen Inventarbericht Deutschland“ [88]. Dies entspricht der „Tier 1-Methode“, bei der die Emissionen als Produkt aus den verbrauchten Kraftstoffen und landesspezifischen Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> berechnet werden (vgl. [88], S. 148).

(10) Die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Energieverbrauchs des internationalen Seeverkehrs gemäß den zuvor beschriebenen Verfahren und Annahmen führt zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle E1: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Energieverbrauchs des internationalen Seeverkehrs (in Mio. t CO<sub>2</sub> und PJ)

		1990	2000	2010	2020	2050
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mio. t	7,915	6,975	8,882	10,722	12,808
Energieverbrauch	PJ	102,554	90,425	114,973	138,363	164,961

Quelle: [88], eigene Berechnungen

### 3.4 Zusammenfassung und kritische Würdigung der Verkehrsprognosen

(1) Die Verkehrsnachfrageprognosen haben für die Quantifizierung des Referenzszenarios zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Endenergieverbrauchs eine große Bedeutung. Die zuvor aufgezeigten Entwicklungen verdeutlichen, dass sowohl im Personenverkehr als auch im Güterverkehr mit einem weiteren Ansteigen der Verkehrsleistungen gerechnet wird. Allerdings fallen die Zuwächse sehr unterschiedlich aus: Im Personenverkehr sind es von 2004 bis 2050 knapp 30%, im Güterverkehr (ohne den internationalen Seeverkehr) hingegen rund 110 %. Hinter diesen unterschiedlichen Prognosen bzw. Projektionen stehen sehr unterschiedliche Treiber: Im Personenverkehr ist es vor allem die demographische Entwicklung im Inland insgesamt wie auch strukturell, während im Güterverkehr vor allem die Fortsetzung und Ausweitung der internationalen Arbeitsteilung zum Tragen kommt.

(2) Die Prognosen der Modalsplitentwicklungen sind trotz des Anspruchs eines Trendszenarios weder im Personen- noch im Güterverkehr lineare Trendfortschreibungen der Vergangenheitsentwicklung. Dazu gibt es angebots- wie nachfrageseitig zu viele Veränderungen bei den Determinanten dieser Entwicklung. Das soll hier nicht im Detail vertieft werden und ist ja auch teilweise Gegenstand der Ausführungen zu den einzelnen politischen Instrumenten und Maßnahmen weiter hinten (vgl. Kap. 5).

(3) Die meisten Prognostiker rechnen mit einer Fortsetzung der internationalen Arbeitsteilung hin zu einer Globalisierung; aber das in früheren Jahren angenommene Wachstumstempo wird heute überwiegend deutlich moderater eingeschätzt. Hierdurch kann es sich ergeben, dass spätestens ab 2025

die jährlichen Wachstumsraten des Güterverkehrs zurückgehen werden, wovon bei den vorliegenden Projektionen ausgegangen wurde.

(4) Bei Betrachtung der Entwicklungen im Güterverkehr ist außerdem zu beachten, dass die Vergangenheitsentwicklung durch eine inzwischen nach unten korrigierte Zahlenreihe zum Straßengüterverkehr ausländischer Lkw verzerrt war. Diese Neueinschätzungen sind in den zuvor dargestellten Zahlen nicht enthalten; deren Berücksichtigung würde unterstreichen, dass man das zukünftige Wachstumstempo der Güterverkehrsleistungen insgesamt flacher einschätzen könnte, als dies bisher geschah (zwischen 2004 und 2025 eher 40 % als 70 %).

(5) Im Personenverkehr ist in erster Linie vorstellbar, dass sich die modalen Verteilungen anders entwickeln könnten, als in der „Verflechtungsmatrix 2025“ prognostiziert, wohingegen bei den gesamtmodalen Einschätzungen auch auf der Grundlage neuer Prognosen kein größerer Korrekturbedarf zu erkennen ist.

## 4 CO<sub>2</sub>-relevante autonome technologische Entwicklungen

(1) Innerhalb des Transportsektors werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen maßgeblich durch die Verbrennung fossiler Kraftstoffe im Straßen- und Luftverkehr bestimmt. Um die energiepolitischen Zielsetzungen einer sicheren und klimaverträglichen Energieversorgung zu erreichen, werden die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Absenkung des Energieverbrauchs durch den Einsatz politischer Instrumente gefördert. Zwar wird der Trend zu geringeren Verbräuchen durch steigende Kraftstoffkosten und durch das Bedürfnis nach umweltfreundlicher Mobilität von Seiten der Nutzer begünstigt, Effizienzsteigerungen werden deshalb auch ohne den Einsatz politischer Instrumente umgesetzt. Doch beschleunigt die Politik diese Entwicklung. In Kapitel 8 werden die untersuchten Maßnahmen in ihrer Wirkung auf Verbrauch und Emissionen der autonomen Entwicklung gegenübergestellt.

(2) Insbesondere der Pkw-Bereich zeichnet sich durch technologische Innovationen aus: von der Optimierung des Verbrennungsvorgangs und verbesserter Abgas-Nachbehandlung über Leichtbau-Karosserien bis hin zur Einführung alternativer Antriebe. Zahlreiche Maßnahmen zur Optimierung des Antriebsstranges reduzieren nicht nur den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sondern sind auch wirtschaftlich ([43], S.42). Hierzu zählen z.B. optimierte Einspritzsysteme, Start-Stopp-Systeme, variable Ventilsteuerung, Thermomanagement, optimierte Getriebe und Leichtlauföle. Zur Verbrauchsoptimierung des Gesamtsystems Pkw tragen darüber hinaus Leichtlaufreifen, Reifendruckkontrollsysteme, Schaltpunkt- und Verbrauchsanzeige, Gewichtsreduzierung (auch Downsizing) und aerodynamische Verbesserungen bei (vgl. [49], S. 104ff).

(3) Der bestandsgewichtete durchschnittliche Verbrauch von in Deutschland zugelassenen Otto-Pkw und Kombi lag im Jahr 2005 bei 8,3 l/100 km und dürfte bis 2030 auf etwa 6,0 l/100 km sinken. Deutsche Diesel-Pkw und Kombi verbrauchten 2005 im Durchschnitt: 6,8 l/100 km, 2030 werden es voraussichtlich 5,6 l/100 km sein (vgl. [11], S. 36). Mit der Erneuerung der Pkw-Flotte verringern sich spezifischer Verbrauch und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Verbrennungsmotor, insbesondere der Otto-Motor, bietet weitere zunehmend wirtschaftliche Potenziale zur Effizienzsteigerung (vgl. [49], S. 103).

(4) Erdgas- und autogasbetriebene Fahrzeuge werden zunehmend nachgefragt. Zwar liegen die Zulassungsanteile zurzeit unter 1 %, doch dürften neben Steuervergünstigungen die breiter werdende Angebotspalette von



Erdgas-Pkw und Subventionen der Gaslieferanten für eine wachsende Bedeutung dieser Antriebe sorgen. Der spezifische CO<sub>2</sub>-Gehalt von Erdgas und Autogas ist niedriger als derjenige von Benzin und Dieselmotorkraftstoff und sorgt somit für niedrigere Emissionen

(5) Die Hybrid-Technologie (insb. Plug-In-Hybrid) stellt eine Brücke zum Elektrofahrzeug dar. Der Hybridantrieb kombiniert elektrische Antriebselemente mit einem Otto- oder Dieselmotor. Es gibt mittlerweile verschiedene Bauformen: Parallel-, Seriell- und Split-Hybrid. Auch zwischen Mild- und Full-Hybrid wird unterschieden. In ihren unterschiedlichen Formen ist die Hybridtechnologie ein weiterer Schritt in Richtung Elektrifizierung ([48], S. 13). Die Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor verringert Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wenngleich Hybrid-Pkw in der Anschaffung aktuell noch vergleichsweise teuer sind, steigt ihr Anteil an den Neuzulassungen kontinuierlich. Mittelfristig können sie bei steigenden Kraftstoffpreisen bezüglich der Gesamtkosten gegenüber konventionellen Antrieben vorteilhaft werden.

(6) Der Einsatz der Hybrid-Technologie ist nicht nur für Pkw geeignet, sondern auch für kleinere Lkw, bei denen die Wirtschaftlichkeit eine entscheidende Rolle spielt. Der Einsatz politischer Instrumente dürfte die Marktdurchdringung mit Hybrid-Fahrzeugen im Lkw-Bereich nur leicht beschleunigen.

(7) Generell ist das noch bestehende Optimierungspotenzial bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen geringer als bei Pkw, da in diesem Bereich bereits in der Vergangenheit aus Kostengründen der Verbrauch deutlich reduziert wurde. Die leichten Nutzfahrzeuge greifen auf ähnliche technische Optimierungsmaßnahmen wie Pkw zurück, z.B. Downsizing bei Diesel-Aggregaten, Reduktion der innermotorischen Reibung und optimierte Getriebe. Der Einsatz von Leichtlaufölen, eine verbesserte Aerodynamik und Start-Stop-Systeme inklusive teilweiser Rückgewinnung der Bremsenergie bringen weitere Kraftstoffeinsparungen (vgl. [43], S. 39). Möglichkeiten zur Einsparung bei mittleren und schweren Lkw ergeben sich aus der aerodynamischen Optimierung der Fahrzeuge am Front- und Heckspoiler. Weitere Verbesserungen am Antriebsstrang sind mit erheblichen Kosten verbunden (vgl. [43], S. 20, S. 40). Die schweren Lkw gelten bereits heute als weitestgehend verbrauchsoptimiert. Allerdings ist der Druck seitens der Straßentransportunternehmen auf die Hersteller groß, auch hier noch nennenswerte Verbrauchsreduktionen zu erzielen. Denn der spezifische Kraftstoffverbrauch ist ein wesentlicher Kostenfaktor des Straßengüterverkehrs – insbesondere im Fern-

verkehr. Die Diskussion über die Zulassung überlanger Last- und Sattelzüge ist nicht zuletzt auf diesen Sachverhalt zurück zu führen.

(8) Auch von der Nutzerseite werden wichtige Impulse zur Technologieentwicklung gegeben. Wenngleich das Auto noch immer als Statussymbol gesehen wird, zeichnet sich seit längerem ein Trend von großen „Spritschluckern“ zu effizienteren Fahrzeugen ab. Die Nachfrage verlagert sich Richtung kostengünstiger, individueller, umweltfreundlicher und in der Handhabung einfacher Fahrzeuge. Bestimmte Nutzergruppen und Mobilitätstypen wie z.B. „greenovators“ verbinden einen nachhaltigen Lebensstil mit mehr Lebensqualität [51]. Diese Gruppen sind nicht nur an effizienten, sondern auch an umweltfreundlichen Fahrzeugen sowie an alternativen Fahrzeugkonzepten interessiert und bereit, dafür mehr zu bezahlen.

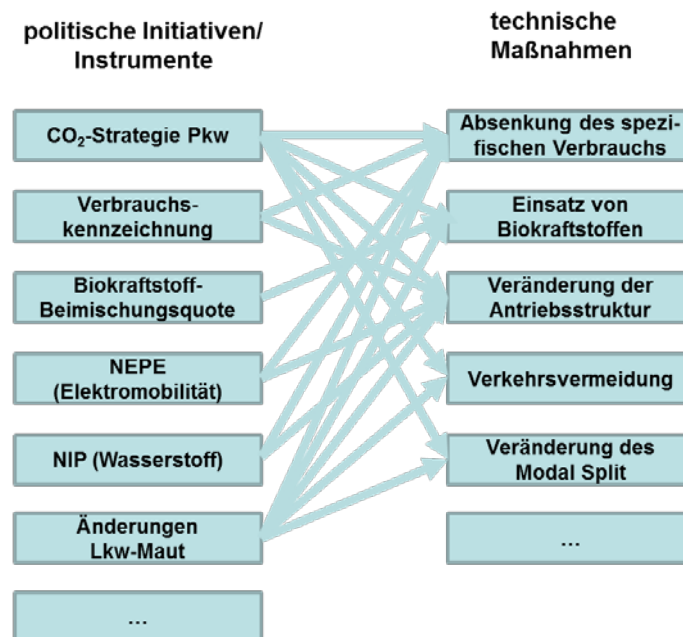
## 5 Wirkungsanalyse aller untersuchungsrelevanten politischen Initiativen und Maßnahmen

### 5.1 Methodische Grundlagen und Annahmen für das Referenzszenario

(1) Das Referenzszenario bildet die Entwicklung der verkehrlichen Mengengerüste, des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen unter Berücksichtigung der von der Politik bis Ende 2009 im Zuge ihrer Initiativen beschlossenen (politischen) Instrumente und deren Umsetzung in technische Maßnahmen ab.

(2) Technische Maßnahmen können jeweils durch verschiedene politische Initiativen und Instrumente ausgelöst werden (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10: Zusammenhang zwischen politischen Initiativen und Instrumenten sowie technischen Maßnahmen



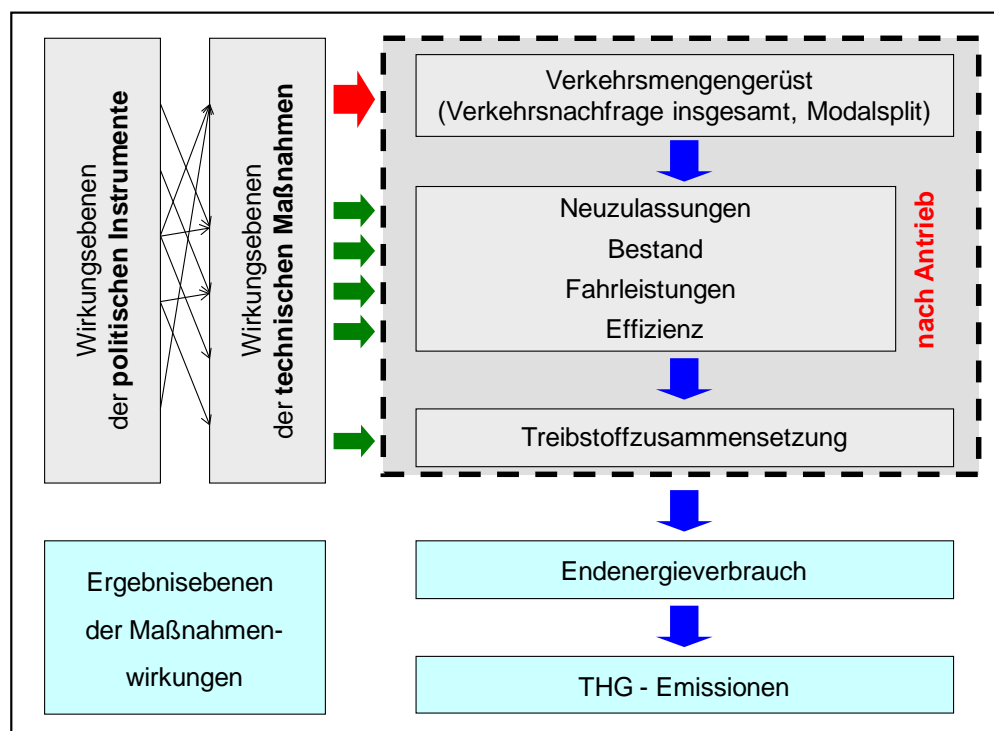
Quelle: eigene Darstellung

Für die Entwicklung des Referenzszenarios wurde für jede technische Maßnahme analysiert, welche politischen Initiativen oder Instrumente darauf Einfluss nehmen, und anschließend wurde deren Gesamteinfluss für jede Maßnahme abgeschätzt (vgl. hierzu Tabelle 7 in Abschnitt 5.2). Beispielsweise

haben sowohl die CO<sub>2</sub>-Zielwerte (I 3) als auch die Verbrauchskennzeichnung (I 6) einen Einfluss auf die Absenkung des spezifischen Verbrauchs von Pkw-Neufahrzeugen mit konventionellen Antrieben (M3). Im Modell wurde die Gesamtwirkung aller relevanten Initiativen bzw. Instrumente durch den Entwicklungspfad des spezifischen Verbrauchs berücksichtigt. Gleichzeitig wirken beide Instrumente (I 3 und I 6) auch auf die Maßnahmen M9, M11 und M12 und damit auf die Antriebsstruktur. Auch hier wurde der Gesamteffekt aller entsprechenden Instrumente abgeschätzt.

(3) Die einzelnen technischen Maßnahmen setzen auf verschiedenen Ebenen des Verkehrsmengengerüsts an (vgl. Abbildung 11). Die Wirkungen treten teilweise sequentiell auf und sind dann voneinander abhängig. Man kann die Maßnahmenwirkung daher nicht isoliert bzw. einzeln betrachten und gleichzeitig eine Additivität der einzelnen Maßnahmenwirkung beibehalten. In der Regel ist die Summe der von den einzelnen Maßnahmen bei isolierter Betrachtung bewirkten Veränderungen größer als die gemessene Veränderung, wenn die Maßnahmen interdependent zusammenwirken („Subadditivität“). Im Ergebnis entsteht ein einziges energetisches Wirkungsgerüst. Auf dieser Ebene können die Wirkungen nicht mehr zu Einzelmaßnahmen oder gar zu einzelnen Instrumenten oder Initiativen zurückverfolgt werden.

Abbildung 11: Systemskizze zur Operationalisierung der Instrumente und Maßnahmen



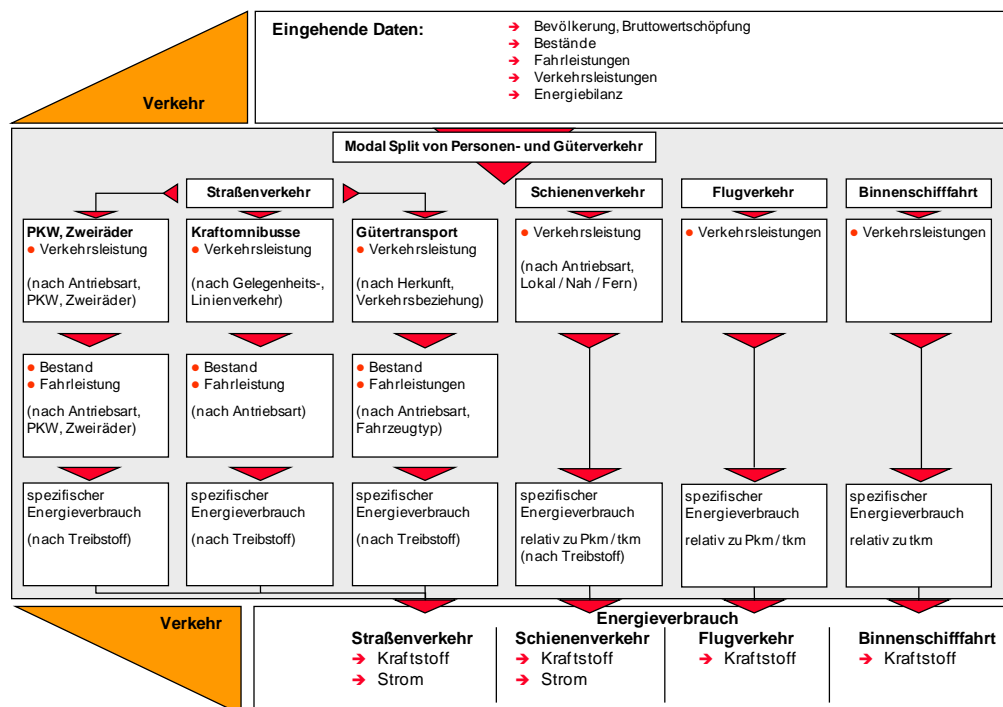
Quelle: eigene Darstellung

(4) Dies soll anhand eines einfachen, plakativen und theoretischen Beispiels erläutert werden<sup>4</sup>: Eine 50 %-Biokraftstoffquote bei Diesel reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Lkw-Verkehrs gegenüber einer Situation ohne Beimischung um 50 % - eine hoch wirksame Maßnahme. Wenn aber zuvor eine andere Maßnahme bereits bewirkt hat, dass es keine Dieselaggregate bei Lkw mehr gibt, ist die Maßnahmenwirkung gleich Null. Dann stellt sich die Beimischung von Biokraftstoffen als völlig unwirksam dar.

**Annahmen für das Referenzszenario**

(5) Der Energieverbrauch wird mit Hilfe eines detaillierten Bottom-Up-Modells bestimmt (vgl. Abbildung 12). Aufbauend auf dem Mengengerüst der Verkehrsleistungen, werden – ausgehend von der Ex-Post-Entwicklung – für die einzelnen Verkehrszweige verbrauchsrelevante Größen wie Bestände und Jahresfahrleistungen in die Zukunft fortgeschrieben. Für die Pkw, die einen Großteil der Energie im Verkehr verbrauchen, erfolgt die Berechnung anhand von Kohortenmodellen für die einzelnen Antriebsarten.

Abbildung 12: Modellschema Verkehrsmodell Prognos



Quelle: eigene Darstellung

<sup>4</sup> Dies gilt bezüglich der in diesem Bericht gewählten Abgrenzung entsprechend des Treibhausgasinventars, nach der die Vorkettenemissionen von Biokraftstoffen – wie bei allen anderen Kraftstoffen – nicht bilanziert werden (vgl. dazu Kapitel 6, Abschnitt 5).

(6) Grundlage für den energiepolitischen Rahmen bildet das Referenzszenario aus den Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung [30]. Um die geforderte Kompatibilität zu der Verflechtungsprognose 2025 [5] zu gewährleisten, wurden die sozioökonomischen Daten entsprechend angepasst.

(7) Neuzulassungen, Bestand und spezifische Verbräuche der Pkw sind nach Antriebsarten in den Tabellen 4 bis 6 dargestellt. Die Entwicklung der Anteile der einzelnen Antriebsarten an den Neuzulassungen sowie der spezifischen Verbräuche sind für die Projektionsjahre zahlenmäßig festgelegte Annahmen, die sich an den Energieszenarien 2010 [30] und der Shell-Pkw-Studie [11] orientieren. Dabei wurde die Trendentwicklung in Verbindung mit (eigenen und externen) Experteneinschätzungen zur Umsetzungsintensität und Umsetzungsgeschwindigkeit der jeweiligen Antriebstechnik fortgeschrieben.

(8) Unter den getroffenen Annahmen wird das Ziel eines Bestands von über 1 Mio. Elektro-Pkw (einschließlich Plug-In-Hybriden) im Jahr 2020 erreicht. Ohne weiter reichende politische Instrumente machen konventionelle Antriebe wegen Kostenvorteilen und Nutzerpräferenzen auch sehr langfristig einen Teil der Neuzulassungen aus.

*Tabelle 4: Pkw-Neuzulassungen nach Antriebsarten 1990 – 2050, in Tausend, Anteile in %.*

Fahrzeuge in Tsd.	1990	2004	2010	2020	2025	2050
Benzintrieb	3.053	1.809	1.669	1.382	1.509	981
Dieselantrieb	348	1.428	1.201	1.517	1.110	263
Hybridantrieb	0	2	11	444	610	1.458
Plug-In-Hybridantrieb	0	0	0	185	247	562
Erdgasantrieb (CNG)	0	2	8	46	55	101
Autogasantrieb (LPG)	0	4	5	33	36	49
Elektroantrieb	0	0	1	93	129	318
Brennstoffzellenantrieb	0	0	0	0	3	19
<b>Bestand insgesamt</b>	<b>3.401</b>	<b>3.246</b>	<b>2.894</b>	<b>3.700</b>	<b>3.700</b>	<b>3.750</b>
Anteile in %	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Benzintrieb	89,8	55,7	57,7	37,3	40,8	26,2
Dieselantrieb	10,2	44,0	41,5	41,0	30,0	7,0
Hybridantrieb	0,0	0,1	0,4	12,0	16,5	38,9
Plug-In-Hybridantrieb	0,0	0,0	0,0	5,0	6,7	15,0
Erdgasantrieb (CNG)	0,0	0,1	0,3	1,3	1,5	2,7
Autogasantrieb (LPG)	0,0	0,1	0,2	0,9	1,0	1,3
Elektroantrieb	0,0	0,0	0,0	2,5	3,5	8,5
Brennstoffzellenantrieb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 5: Pkw-Bestände nach Antriebsarten 1990 – 2050, in Tausend, Anteile in %.

Fahrzeuge in Tsd.	1990	2004	2010	2020	2025	2050
Benzintrieb	31.952	36.485	34.311	28.375	25.631	17.860
Dieselantrieb	4.082	8.683	12.433	17.482	17.170	6.900
Hybridantrieb	0	1	37	2.064	4.453	17.364
Plug-In-Hybridantrieb	0	0	0	649	1.666	6.746
Erdgasantrieb (CNG)	0	8	79	343	535	1.281
Autogasantrieb (LPG)	1	19	443	593	668	713
Elektroantrieb	2	2	2	414	924	3.771
Brennstoffzellenantrieb	0	0	0	3	12	200
<b>Bestand insgesamt</b>	<b>36.037</b>	<b>45.199</b>	<b>47.306</b>	<b>49.922</b>	<b>51.059</b>	<b>54.835</b>

Anteile in %	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Benzintrieb	88,7	80,7	72,5	56,8	50,2	32,6
Dieselantrieb	11,3	19,2	26,3	35,0	33,6	12,6
Hybridantrieb	0,0	0,0	0,1	4,1	8,7	31,7
Plug-In-Hybridantrieb	0,0	0,0	0,0	1,3	3,3	12,3
Erdgasantrieb (CNG)	0,0	0,0	0,2	0,7	1,0	2,3
Autogasantrieb (LPG)	0,0	0,0	0,9	1,2	1,3	1,3
Elektroantrieb	0,0	0,0	0,0	0,8	1,8	6,9
Brennstoffzellenantrieb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 6: Durchschnittlicher spezifischer Verbrauch des Pkw-Fahrzeugbestands, nach Antriebsart, in jeweiligen Einheiten pro 100 km.

	1990	2004	2010	2020	2025	2050
Benzintrieb (l/100 km)	9,7	8,4	7,5	6,0	5,3	4,2
Dieselantrieb (l/100 km)	7,8	6,9	6,4	5,3	4,9	4,0
Hybridantrieb (l/100 km)	-	6,3	5,7	4,5	4,0	3,2
Plug-In-Hybridantrieb (kWh/100 km)	-	-	-	22	21	17
Erdgasantrieb (CNG, kg/100 km)	-	5,7	5,1	4,0	3,6	2,9
Autogasantrieb (LPG, kg/100 km)	7,2	6,2	5,2	4,1	3,7	2,9
Elektroantrieb (kWh/100 km)	31	21	19	18	18	15
Brennstoffzellenantrieb (H <sub>2</sub> , kg/100 km)	-	-	-	1,4	1,3	1,1

Quelle: eigene Berechnungen

(9) Bei den leichten Lkw wird davon ausgegangen, dass auch ohne entsprechende politische Initiativen ein Teil längerfristig mit Hybridantrieben ausgestattet wird. Bis 2050 wächst der Hybrid-Anteil am Bestand auf 20 %.

## 5.2 Politische Initiativen

(1) Der Begriff „Maßnahmen“ wird häufig als Synonym für jegliches Handeln eines Akteurs verwendet, unabhängig davon, ob es sich um ein generel-

les „Programm“ oder politische Instrumente handelt, mit denen Ziele oder Rahmenbedingungen für eine konkrete Aktion gesetzt werden, oder ob es sich um diese konkreten (Umsetzungs-)Aktionen selbst handelt. Nach unserem Verständnis werden politische Initiativen mit politischen „Instrumenten“ konkretisiert und mit dazugehörigen „Maßnahmen“ (im engeren Sinne) umgesetzt. Die Begriffe „politische Initiativen“ sowie „politische Instrumente“ gehören also eng zusammen und sind klar von den (konkreten Umsetzungs-) „Maßnahmen“ zu unterscheiden.

(2) Im vorliegenden Referenzszenario für den Bereich Verkehr wurden vereinbarungsgemäß die möglichen Einsparpotenziale aller bis zum 31.12.2009 beschlossenen politischen Initiativen und Instrumente identifiziert und bewertet. Ergänzend erfolgte auch eine Ermittlung für politische Initiativen und Instrumente, die ab 2010 bis Ende 2011 ergriffen wurden.

(3) In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die aus unserer Sicht wichtigsten und mit dem Auftraggeber abgestimmten politischen Instrumente zusammengefasst, die bis zum 31.12.2009 beschlossen wurden.

(4) Allen politischen Initiativen oder Instrumenten sind die dazu gehörigen Maßnahmen zugeordnet worden. Ferner sind die (Programm)Kosten seitens des zuständigen Ministeriums (Träger) und der Zeithorizont, bis zu dem die Initiative bzw. das Instrument umgesetzt werden soll, ausgewiesen.

(5) Im Wesentlichen entstammen die aufgelisteten politischen Instrumente den folgenden Programmen und Vorschriften:

- dem Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität (NEPE) [16]
- dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) [31]
- IEKP-Maßnahmen im Verkehr [24]
- Harmonisierungsmaßnahmen im Straßengüterverkehr [14]
- der Ökosteuern, dem Energiesteuergesetz und der Beimischungsquote [57], [59], [60]

(6) Die Instrumente betreffen beide Verkehrsarten (Güter- und Personenverkehr) und alle Verkehrsträger: Straße und Schiene, Luft und Wasser. Aus den insgesamt 29 IEKP-Instrumenten haben wir diejenigen ausgewählt, die im Verkehrsbereich Wirkungen erzeugen. Der überwiegende Teil der Instrumente betrifft den Straßenverkehr, insbesondere den motorisierten Individualverkehr (MIV), der die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht und damit die größten Potenziale zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bietet.



Tabelle 7: Überblick über die untersuchungsrelevanten politischen Instrumente (auf mehreren Seiten)

Nr	Name / Paket	Typ	Schwerpunkt	Ausprägung	Betroffene Maßnahme	Kosten	Träger	Zeit-horizont		
I 1	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität (auch Konjunkturpaket II Fokus "Elektromobilität" und IEKP-Maßnahme 26, tlw. IEKP-Maßnahme 25.5 "Technologie- und Effizienzprogramm für zukünftige Antriebstechnologien")	Förderung Forschung und Entwicklung	Energiespeicher	Entwicklung von Produktionstechnologien für Lithium-Ionen-Zellen / Batteriesystemen (P4)	M9	60 Mio. Euro	BMBF	2015		
					M10	360 Mio. Euro	Industrie	2015		
						35 Mio. Euro	BMW i	2012		
			Fahrzeugtechnik	Weiterentwicklung der Kernkomponenten des Hybrid-Antriebsstrangs und anwendungsorientierte Entwicklung und Integration von neuen Funktionsmodulen (Pkw und Nutzfahrzeuge) (P5)	M9	30 Mio. Euro	BMW i	2010 o.J.		
					M10	100 Mio. Euro	BMBF			
						500 Mio. Euro	Industrie			
		System- und Netzintegration	u.a. Entwicklung und Erprobung neuer Konzepte für die digitale Vernetzung und intelligente Steuerung der technischen Systeme in Modellregionen (P6)	M9	60 Mio. Euro	BMW i BMU	2012			
				M10	80 Mio. Euro	Industrie				
								insgesamt 140 Mio. Euro		
		I 1	Marktentwicklung/ Marktvorbereitung	Durchführung und Auswertung eines Flottenversuchs mit Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen zwecks Nutzungstauglichkeit	Flottenversuch Elektromobilität im Pkw- und Wirtschaftsverkehr (P7 und P8)	M9	15 Mio. Euro	BMU KfW	2009-2013	
M10										
M9										
M9										
M10										
I 1	Konjunkturpaket II Fokus "Elektromobilität" (Kopa II)	Investitionen / Förderprogramm	siehe oben	siehe oben	M9	500 Mio. Euro	Bundes-regierung	2011		
					M10					

(Fortsetzung)

Nr	Name / Paket	Typ	Schwerpunkt	Ausprägung	Betroffene Maßnahme	Kosten	Träger	Zeit-horizont
I 2	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellen-technologie (NIP)	Investitionen / Förderprogramm	Technologie, F&E, Demonstrations- und Leuchtturm-Projekte	Forschung und Entwicklung Fahrzeug, H2 Bereitstellung	M11	658 Tsd. Euro	BMVBS, BMWi, BMBF Industrie	2006-2015
				Demonstration Fahrzeug und Tankstellen		478 Tsd. Euro		
				Übergreifende Themen		8 Tsd. Euro		
I 3	CO <sub>2</sub> -Strategie Pkw (IEKP-Maßnahme 16)	Ordnungsrechtliche Vorschriften im Bezug auf technische Standards	wettbewerbsneutraler integrierter Ansatz zur Errechnung des Ziels von 120 g CO <sub>2</sub> /km (bzw. 130 g CO <sub>2</sub> /km)	Einführung der CO <sub>2</sub> -Zielwertes für Neufahrzeuge	M1 M3 M4 M9 M11 M12 (M14)	6,44 Mrd. Euro Investitionskosten (Brutto); -128 €/t CO <sub>2</sub> Minderungskosten; 8,7 Mrd. Euro/a durch Energieeinsparung	BMU	2012 (2015)
I 4	Ausbau von Biokraftstoffen (IEKP-Maßnahme 17)	Ordnungsrechtliche Vorschriften	stärkere Nutzung von Biokraftstoffe der zweiten Generation	Festsetzung eines Mindestanteils von Biokraftstoffen (Quote): 10 Volumenprozent Bioethanol 7 Volumenprozent Biodiesel	M13	keine Investitionskosten; 84 bis 168 €/t CO <sub>2</sub> Minderungskosten; -1,0 bis 2,0 Mrd. Euro/a durch Energieeinsparung	BMU BMF BMELV	2012

(Fortsetzung)

Nr	Name / Paket	Typ	Schwerpunkt	Ausprägung	Betroffene Maßnahme	Kosten	Träger	Zeit-horizont
15	Umstellung der Kfz-Steuer auf Schadstoff- und CO <sub>2</sub> -Basis (IEKP-Maßnahme 18)	Steuer für Pkw in Verbindung mit technischen Standards	Umgestaltung der Kraftfahrzeugsteuer für Pkw	Einführung verkehrstechnischer Vorschriften für steuerliche Bemessungsgrundlage	M3 M4 M9 M10 M11 M12 M13 (M14)	k.A.	BMF	2009 2013
				CO <sub>2</sub> -Zielwert für Neufahrzeuge				
				Anwendung eines einheitlichen linearen CO <sub>2</sub> -Tarifs				
				Umstellung der Besteuerung von Diesel-Fzg auf CO <sub>2</sub> -Basis				
				Begünstigung schadstoffarmer Pkw				
				Anhebung der Steuersätze für Pkw Euro-2, Euro-3 und ggf. Euro-4				
				Erhebung neuer CO <sub>2</sub> -bezogenen Steuer für Euro-4 und Euro-5				
16	Verbrauchs-kennzeichnung Pkw (IEKP-Maßnahme 19)	Verpflichtende Kennzeichnung / Produktinformation	Konzept für eine verbraucherfreundliche und übersichtliche Kennzeichnung von Pkw gem. EU-CO <sub>2</sub> -Zielen und EU-weit harmonisierten Form der Verbraucherinformation	Umsetzung der europäischen Richtlinie 1999/94/EG in nationales Recht	M3 M4	k.A.	BMW i	01.08.2008

(Fortsetzung)

Nr	Name / Paket	Typ	Schwerpunkt	Ausprägung	Betroffene Maßnahme	Kosten	Träger	Zeit-horizont
I 7	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20)	Verordnung	Mauthöheverordnung Straßengüterverkehr	stärkere Spreizung (Verdopplung) der Mautsatzdifferenzierung in Abhängigkeit der Emissionsklasse sowie Begünstigung der Nachrüstung von Partikelfiltern (ab 01.01.09) längerfristig leichte Modalsplit-Verschiebung zugunsten Schiene und leichte Erhöhung der mittleren Beladung	(M2) (M5) (M10) M13 (M14)	k.A.	BMVBS	k.A.
I 8	Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel (IEKP-Maßnahme 21.1)	Setzung marktlicher Rahmenbedingungen	Richtlinie im Luftverkehr zur Senkung der CO <sub>2</sub> -Emissionen	Zuteilung der Zertifikate	M1 M2 M7 M13 M14	k.A.	BMU	2012
I 9	Single European Sky (IEKP-Maßnahme 21.2)	Verordnung im Luftverkehr	Ermöglichung direkter Streckenführung in für Treibstoffverbrauch günstiger Flughöhe von Start zum Ziel	Festlegung von Flughöhen und Routen	M7	k.A.	BMVBS	2013/2018/2020
I 10	Emissionsbezogene Landeentgelte an Flughäfen (IEKP-Maßnahme 21.3)	Abgaben	emissionsbezogene Ausgestaltung der Landeentgelte	Besteuerung der innerdeutschen und europäischen Flüge	M1 M2 M14	k.A.	BMVBS	in Arbeit
I 11	Harmonisierungsmaßnahmen im Straßengüterverkehr	Förderung	Innovationsprogramm zur Förderung der Anschaffung besonders emissionsarmer schwerer Lkw	Erneuerung der Lkw-Flotte zugunsten besonders emissionsarmer schwerer Lkw	M5	100 Mio. Euro/Jahr	BMU	bis 2009 umgesetzt

(Fortsetzung)

Nr	Name / Paket	Typ	Schwerpunkt	Ausprägung	Betroffene Maßnahme	Kosten	Träger	Zeit-horizont
I 12	Ökosteuern	Abgaben	Steuer auf fossile Energieträger	Erhöhung von 3,07 ct/Liter/a (1999-2003)	M3 M4 M5 M9 M10 M11 M12 M13 M14	jährliche Einnahmen	BMF	ab 1999
I 13	EnergieStG	Kraftstoffsteuer	begünstigter Steuersatz für Erdgas und Flüssiggas als Kraftstoff	Erdgas: 13,90 Euro je MWh bzw. 18,03 ct/kg (etwa 1,39 ct/kWh); bis 2018 danach 31,80 Euro je MWh. Autogas: 180,32 Euro für 1.000 kg bzw. 18 Cent/kg (= 9,74 Cent/l) bis 2018, danach 409 Euro pro 1.000 kg	M12	k.A.	Bundesministerium der Justiz	ab 2006 bis 2018
I 14	Beimischungsquote	gesetzliche Verordnung zur Beimischungspflicht	Zumischung von Biokraftstoffen zu fossilen Kraftstoffen	Biokraftstoffanteil von 20 Volumenprozent (17% energetisch) am gesamten Treibstoffverbrauch aktuell: Bioethanol (E10) und Biodiesel (B7)	M13	k.A.	BMF BMU BMELV	2007-2020
I 15	Integration der Seeschifffahrt in den Emissionshandel (IEKP-Maßnahme 22.1)	Setzung marktlicher Rahmenbedingungen	Einbeziehung der Seeschifffahrt in den Emissionshandel	Zuteilung der Zertifikate	M8 M12 M13 M 14	k.A.	BMU (UNFCCC) BMVBS (IMO)	in Arbeit

Quelle: [14]-[64]

(7) Verkehrsträgerübergreifend wirken die „Ökosteuern auf Kraftstoffe“, das „Energiesteuergesetz“ sowie die „Beimischungsquote für Biokraftstoffe“. Die Ökosteuern betragen seit 2003 konstant 15,3 Cent pro Liter Kraftstoff; ihre fahrleistungsdämpfende Wirkung ist umstritten und der Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion gering. Das Energiesteuergesetz und die Beimischungsquote für Biokraftstoffe nehmen direkten Einfluss auf Qualität und Menge der im Verkehr eingesetzten Kraftstoffe, z.B. durch energiesparende Fahrweise, Umstieg auf verbrauchsgünstigere Kraftfahrzeuge oder auf alternative Antriebe sowie Kraftstoffe oder durch eine Wahl anderer Verkehrsmittel. Speziell das Energiesteuergesetz begünstigt die Entwicklung der Erdgas- und autogasbetriebenen Fahrzeuge; diese emissions- und schadstoffärmeren (z.B. im Vergleich zu Diesel) Fahrzeuge werden verstärkt nachgefragt.

(8) Einen wichtigen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten Biokraftstoffe in reiner Form oder als Beimischung zu konventionellen Kraftstoffen. Biokraftstoffe werden vor allem im Straßenverkehr, versuchsweise auch im Schienen- und im Luftverkehr eingesetzt. Ihre Treibhausgas mindernden Potenziale werden als signifikant eingeschätzt.

(9) Im Straßenpersonenverkehr bildet die „CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw“ das Kernelement. Ihre Wirkung ist auf die Entwicklung und Einführung energiesparender Technologien im Pkw-Antriebsstrang sowie auf alternative Antriebe und Kraftstoffeinsparungen gerichtet. Auch die Umstellung der Kfz-Steuer auf CO<sub>2</sub>-Basis soll die Einführung energiesparender Technologien im Pkw-Antriebsstrang sowie alternativer Antriebe positiv beeinflussen.

(10) Die Verbrauchskennzeichnung Pkw ordnet die Fahrzeuge unterschiedlichen Effizienzklassen zu und schafft so mehr Transparenz über Verbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Insgesamt soll dadurch das Kaufverhalten zugunsten emissionsärmerer Fahrzeuge beeinflusst werden.

(11) Die beiden Instrumente „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“ (NEPE) und „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP) unterstützen Forschung und Entwicklung im Bereich alternativer Antriebe und fördern die Entwicklung der Alltagstauglichkeit von Fahrzeugkonzepten und ihre Markteinführung.

(12) Die Lkw-Maut zielt auf höhere Beladungen und weniger Leerfahrten von Lkw sowie auf eine Verlagerung von Transportleistung auf umweltfreundlichere Verkehrsträger. Zudem stellen die seit 01.01.2009 stärker differenzierten Mautsätze darauf ab, die Lkw-Flotte sukzessive zugunsten von Lkw mit niedrigeren Schadstoffemissionen zu modernisieren. Begleitend dazu

wurde im Zuge der „Harmonisierungsmaßnahmen“ das Innovationsprogramm zur Förderung der Anschaffung schwerer Lkw mit besonders niedrigen Schadstoffemissionen in 2003 verabschiedet und bis zum 1. Januar 2009 umgesetzt.

(13) Neben dem Straßenverkehr tragen Luftverkehr und Seeverkehr maßgeblich zu den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Diese Sektoren sind im Kyoto-Protokoll nicht reglementiert. Mit der Integration dieser wachsenden Sektoren in den Emissionshandel (I 8 und I 15) sollen diese in die Klimaschutzpolitik eingebunden und mit marktwirtschaftlichen Instrumenten wie emissionsbezogenen Landeentgelten sollen ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden.

(14) Das Thema der Elektromobilität wird sowohl im Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP, 2007) als auch im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität (NEPE, 2009) aufgegriffen. Dieser wurde gemeinsam mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) im Rahmen des Konjunkturpakets II von der Bundesregierung beschlossen. Die im Rahmen des IEKP beschlossenen Maßnahmen i.w.S. (hier politische Instrumente) zielen auf effizienten Klimaschutz ab (vgl. [20], S. 2). Sie sollen dazu beitragen, die Abhängigkeit von Öl-Importen zu reduzieren, Energie effizienter einzusetzen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken.

## 5.3 Maßnahmen

(1) Um die mit dem Einsatz politischer Initiativen angestrebten Zielsetzungen zu erreichen, sind Maßnahmen auf der technischen Ebene erforderlich. Dabei können einerseits politische Initiativen gleichzeitig mit mehreren Maßnahmen umgesetzt werden; andererseits kann eine einzelne Maßnahme von mehreren politischen Initiativen ausgelöst bzw. beeinflusst werden (vgl. hierzu Abbildung 11). Beispielsweise wird die technische Maßnahme „Absenkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von Pkw mit konventionellen Antrieben“ (M3) sowohl von der Umstellung der Kfz-Steuer auf Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Basis (I 5) (über Beeinflussung des Pkw-Angebots) als auch von der Verbrauchskennzeichnung Pkw (I 6) (über das Käuferverhalten) adressiert. Die beiden genannten Instrumente wirken zusätzlich auf die Antriebsstruktur, insbesondere hin zu einer Elektrifizierung des Pkw-Parks (M9).

(2) Tabelle 8 gibt einen Überblick über mögliche Maßnahmen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrsbereich und gibt an, welche der in Kapi-

tel 5.2 aufgeführten politischen Initiativen welche der genannten Maßnahmen adressieren.

Tabelle 8: Überblick über die untersuchungsrelevanten Maßnahmen

Nr.	Kategorie	Name	Beschreibung	Quantifizierung	Relevante Instrumente
M1	Modal Split	Personenverkehr	Steigerung des Anteils des Schienenverkehrs		I 3 I 8 I 10
M2		Güterverkehr			Steigerung der Anteile von Schienenverkehr und Binnenschiff
M3	Spezifischer Verbrauch	Pkw; konventionelle Diesel- und Benzinantriebe	Senkung des spezifischen Verbrauchs		I 3 I 5 I 6 I 12
M4		Pkw; alle Antriebe			I 3 I 5 I 6 I 12
M5		Güterstraßenverkehr			(I 7) I 11 I 12
M6		Schienenverkehr			
M7		Luftverkehr			I 8 I 9
M8		Schifffahrt (Binnenschifffahrt und Seeschifffahrt)			I 15
M9		Antriebsstruktur			Pkw Hybrid-, Elektroantrieb
M10	Hybridantrieb Lkw, Busse, Nutzfahrzeuge		I 1 I 5 (I 7) I 12		
M11	Wasserstoffantrieb		I 2 I 3 I 5 I 12		
M12	Flüssig- und Erdgas		I 3 I 5 I 13 I 15		
M13	Kraftstoffmix	Biokraftstoffe	Steigerung des Anteils an Biokraftstoffen	2020: Biokraftstoffanteil von 20 Volumenprozent (17% energetisch) am gesamten Treibstoffverbrauch	I 4 I 5 I 7 I 8 I 14 (I 15)
		Verschiebung innerhalb fossiler Treibstoffe	Verschiebung zu Treibstoffen mit geringer CO <sub>2</sub> -Intensität		I 3 I 5 I 13 I 15
M14	Verkehrsvermeidung	Personenverkehr	Vermeidung der Fahrten		(I 3) (I 5) (I 7) I 8
		Güterverkehr	Optimierung der Wege		I 10 I 12 I 15

Quelle: eigene Darstellung



Die aufgelisteten Maßnahmen lassen sich in fünf Kategorien einteilen, welche prinzipielle Ansatzpunkte für eine Reduktion der Emissionen im Verkehr darstellen:

- Modal Split des Personen- und Güterverkehrs
- spezifischer Verbrauch
- Antriebsstruktur
- Kraftstoffmix sowie
- Verkehrsvermeidung

(3) Im Referenzszenario wurde die gemeinsame Wirkung aller im Kapitel 5.2 aufgeführten politischen Initiativen auf die Entwicklung der Umsetzungsmaßnahmen abgeschätzt und im Modell hinsichtlich ihrer Konsequenzen für den Endenergieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht. Zusätzlich wurde die isolierte Wirkung ausgewählter politischer Initiativen anhand von Sensitivitätsrechnungen analysiert. Dabei wurde jeweils die isolierte Wirkung der politischen Initiative auf die jeweils betroffenen Umsetzungsmaßnahmen abgeschätzt und analog zum Referenzszenario hinsichtlich der Konsequenzen für den Endenergieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht. Die Ergebnisse sind in Kapitel 8 dokumentiert.

(4) Auch unabhängig vom Einsatz politischer Instrumente können technische Maßnahmen ergriffen werden und Wirkung zeigen. Beispielsweise kann der autonome (nicht durch die Politik getriebene) technische Fortschritt bei allen Fahrzeugtypen weitere Effizienzsteigerungen bewirken (M3-M8, vgl. Kapitel 4). Wenn im Folgenden von Maßnahmenwirkung gesprochen wird, sind damit diejenigen Konsequenzen gemeint, die durch den Einsatz politischer Instrumente ausgelöst und auf der technischen Ebene in entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden.

(5) Wichtige Maßnahmen zur Absenkung der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind

- Verlagerungen von Verkehrsleistungen von der Straße auf die Schiene. Dadurch kann im Personen- und Güterverkehr die gesamtmodale Energieeffizienz gesteigert und die Emissionen gesenkt werden. Im Güterverkehr ist zudem die Verlagerung vom Straßenverkehr zur Binnenschifffahrt von Bedeutung.
- Effizienzsteigerungen, die insbesondere bei der Absenkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von Pkw (M3, M4) ein großes CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial bieten. Auch bei Lkw (M5) und im Luftverkehr (M7) stellt die Senkung der spezifischen Verbräuche eine wesentliche Maßnahme dar.

- Veränderungen in der Antriebsstruktur – insbesondere bei Pkw (M9, M11, M12). Mittelfristig bietet der Einsatz von Erdgas- und Flüssiggas-antrieben (M12) eine Möglichkeit zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Durch die höhere Effizienz von Elektroantrieben können Energieverbrauch und – in Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Intensität des Kraftwerkparks – Emissionen gesenkt werden. Längerfristig könnten Wasserstoffantriebe (M11) eingesetzt werden.
- Veränderungen im Kraftstoffmix (M13) zugunsten von Energieträgern mit geringen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, insbesondere Biokraftstoffe. Bei anspruchsvollen Emissionsminderungszielen müssen wegen der begrenzten Potenziale Biomassen vorrangig in Form von Biokraftstoffen im Straßengüterverkehr und im Luftverkehr eingesetzt werden, wo hohe Energiedichten benötigt werden. Die Substitution von Benzin- und Dieselmotoren durch Gasantriebe reduziert ebenfalls die Emissionen. Auch in der Schifffahrt besteht diese Option.
- Verkehrsvermeidung bei allen (motorisierten) Verkehrsmodi. Wenn gleich ein Teil der im Referenzszenario untersuchten Instrumente potenziell hier ansetzt, ist die Wirkung im Vergleich zu den anderen Maßnahmen vernachlässigbar gering.

## 6 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzszenario

(1) Die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden vom Straßenverkehr dominiert. In der Abgrenzung des Kyoto-Protokolls, also ohne die Emissionen des internationalen Luftverkehrs und der Seeschifffahrt, entfielen darauf im Jahr 2010 rund 97 % der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Tabelle 9). Im Referenzszenario verringern sich die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in dieser Abgrenzung zwischen 1990 und 2050 um insgesamt 39,5 %. Bezogen auf den Zeitraum 1990 bis 2020, für den die Bundesregierung ein Ziel zur Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen (gemäß Kyoto-Protokoll) um 40% gesetzt hat, verringern sich die entsprechenden verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 17,4 %.

(2) Bezieht man, abweichend von der Kyoto-Definition, auch die mit dem internationalen Luftverkehr und der Seeschifffahrt verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen ein und berücksichtigt darüber hinaus auch diejenigen Emissionen, die in der Elektrizitätswirtschaft bei der Erzeugung des Stroms entstehen, der für Verkehrszwecke genutzt wird, liegen die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen 2050 um 23 % niedriger als 1990. Die unterschiedliche Entwicklung der Emissionen in den beiden Abgrenzungen ist vor allem auf die im Betrachtungszeitraum stark zunehmende Bedeutung von internationalem Luftverkehr und Seeschifffahrt zurückzuführen.

(3) Im Straßenverkehr resultiert die erhebliche Emissionsminderung aus effizienzbedingt rückläufigen Energieverbräuchen sowie einer Veränderung des Energiemixes zugunsten weniger CO<sub>2</sub>-haltiger Energieträger, wobei die zunehmende Elektrifizierung des Pkw-Bestandes eine wichtige Rolle spielt.<sup>5</sup>

(4) Die Emissionen von nationalem Luftverkehr und Binnenschifffahrt gehen zwischen 1990 und 2004 ebenfalls deutlich zurück, danach verändern sie sich zusammen genommen nur wenig. Die direkten Emissionen des Schienenverkehrs verringern sich bis 2020 durchgehend, anschließend bleiben sie annähernd konstant.

---

<sup>5</sup> Zwischen 1990 und 2050 geht das Verhältnis der CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Endenergieverbrauch um knapp 16 % zurück.

Tabelle 9: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Verkehrszweigen und Summen in unterschiedlichen Abgrenzungen 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Änderungen gegenüber 1990 in %, Veränderungsraten in % p.a.

Absolut in Mio. t CO <sub>2</sub>		1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
<b>Emissionen gemäß Kyoto-Protokoll</b>							
	Motorisierter Individualverkehr			95,7	79,4	71,8	47,9
	Öff. Straßenpersonenverkehr			2,4	2,2	2,2	2,3
	Straßengüterverkehr			44,0	47,9	48,3	44,0
1.	<b>Straßenverkehr insgesamt</b>	<b>154,7</b>	<b>163,5</b>	<b>142,1</b>	<b>129,6</b>	<b>122,3</b>	<b>94,2</b>
	Personenverkehr Eisenbahn			0,9	0,7	0,7	0,7
	Schiengüterverkehr			0,3	0,3	0,3	0,2
2.	<b>Schienerverkehr insgesamt</b>	<b>2,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
	nationale Luftfahrt			1,8	1,8	1,9	1,3
	nationale Luftfracht			0,5	0,4	0,4	0,3
3.	<b>nat. Luftverkehr insgesamt</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,3</b>	<b>1,6</b>
4.	<b>Binnenschifffahrt</b>	<b>2,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>
1.-4.	<b>Verkehr insg. gem. Kyoto</b>	<b>161,9</b>	<b>167,9</b>	<b>146,4</b>	<b>133,8</b>	<b>126,6</b>	<b>97,9</b>
	Änderung ggü. 1990		+3,7%	-9,6%	-17,4%	-21,8%	-39,5%
<b>Emissionen sonstige Verkehrszweige, die nach Kyoto-Protokoll nicht angerechnet werden</b>							
5.	Seeverkehr	7,9	8,5	8,9	10,6	11,2	12,7
6.	internationaler Luftverkehr	12,0	21,2	27,6	31,3	33,8	29,1
1.-6.	<b>Verkehr inkl. sonst. V.-zweige</b>	<b>181,9</b>	<b>197,6</b>	<b>182,8</b>	<b>175,7</b>	<b>171,7</b>	<b>139,7</b>
	Änderung ggü. 1990		+8,6%	+0,5%	-3,4%	-5,6%	-23,2%
<b>Indirekte Emissionen die durch Stromverbrauch im Verkehr im Sektor Stromerzeugung induziert werden</b>							
7.	indirekte Emissionen Strom**	12,7	11,9	9,2	10,1	10,6	10,1
1.-7.	<b>Verkehr inkl. alle Zurechenb.***</b>	<b>194,6</b>	<b>209,5</b>	<b>192,1</b>	<b>185,8</b>	<b>182,2</b>	<b>149,8</b>
	Änderung ggü. 1990		+7,7%	-1,3%	-4,5%	-6,3%	-23,0%
<b>Veränderungsraten in % p.a.</b>			<b>1990-2004</b>	<b>2004-2025</b>	<b>2025-2050</b>	<b>2004-2050</b>	<b>1990-2050</b>
1.-4.	Verkehr insg. gem. Kyoto		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
1.-6.	Verkehr inkl. sonst. V.-zweige		+0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6
1.-7.	Verkehr inkl. alle Zurechenbare***		+0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll; vgl. Fußnote 6

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

\*\* zu indirekten Emissionen Strom siehe Fußnote 7

\*\*\* gem. Kyoto, zzgl. See- und int. Luftverkehr, zzgl. ind. Emissionen Strom

(5) Zur Berechnung der Emissionen wurden für die fossilen Treibstoffe konstante Emissionsfaktoren entsprechend des Kohlenstoffgehalts der Energieträger verwendet.<sup>8</sup> Für Biotreibstoffe wurden entsprechend der Bilanzierung im Emissionsinventar keine Emissionen angerechnet. Der Stromver-

<sup>6</sup> Insbesondere: keine Anrechnung der Emissionen von internationaler Luftfahrt und Seeschifffahrt sowie von indirekten Emissionen, die durch Stromverbrauch im Verkehrssektor induziert werden.

<sup>7</sup> Bewertung der indirekten Emissionen durch Stromverbrauch 1990, 2004: Emissionen Stromerzeugung (genähert durch UBA Emissionsinventar 1.A.4 A. Verbrennung fossiler Brennstoffe Energiewirtschaft) multipliziert mit Anteil des Schienenverkehrs am gesamten Endenergieverbrauch (EEV) Strom (nach Energiebilanz). Für die Jahre 2010 bis 2050 wird das Verhältnis von Emissionen der Stromerzeugung zum EEV Strom entsprechend des Szenarios Referenz der Energieszenarien 2010 [30] verwendet.

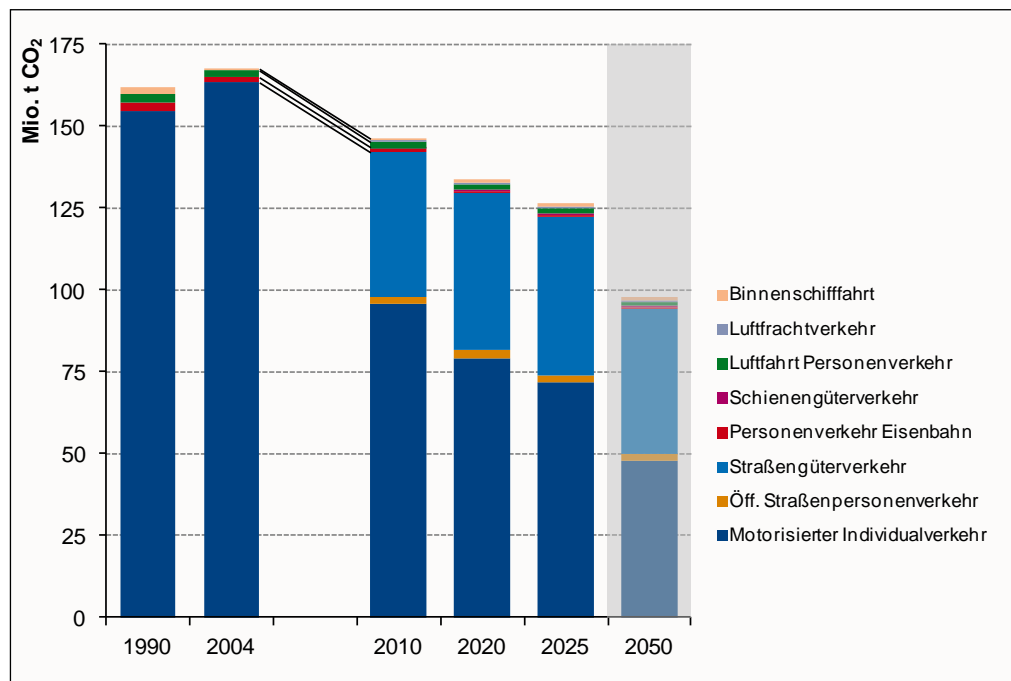
<sup>8</sup> Benzin: 72 kg/GJ, Diesel: 74 kg/GJ, Kerosin: 73 kg/GJ, CNG: 56 kg/GJ, LPG: 65 kg/GJ

brauch wurde mit dem auf den Endenergieverbrauch an Strom bezogenen durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor bewertet. Eine Bewertung der CO<sub>2</sub>-Intensität des im Verkehr tatsächlich eingesetzten Stroms ist weder möglich noch sinnvoll.<sup>9</sup>

(6) Auch im Jahr 2050 entfällt in der Kyoto-Abgrenzung mit 96% der überwiegende Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Straßenverkehr, die Emissionen der anderen Verkehrsträger bleiben von untergeordneter Bedeutung (vgl. Abbildung 13; eine Darstellung für eine erweiterte Abgrenzung ist in der Box auf der nachfolgenden Seite zu finden). Im Zeitablauf zeigt sich eine Trendwende bei den Emissionen. Sind sie zwischen 1990 und 2004 noch um 0,3 % p.a. angestiegen, gehen sie danach bis 2050 um 1,2 % p.a. zurück.

(7) Die Emissionsentwicklung bis 2025 weicht von der CO<sub>2</sub>-Prognose, die im Rahmen der „Verkehrsverflechtungen 2025“ [5] erstellt wurde, ab, weil in der vorliegenden Untersuchung ein anderes Modell mit größerem Detaillierungsgrad verwendet wurde und die seit Erstellung der Verflechtungsmatrix eingetretenen neuen Entwicklungen berücksichtigt wurden.

Abbildung 13: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Verkehrszweigen 1990-2050, in Mio. t



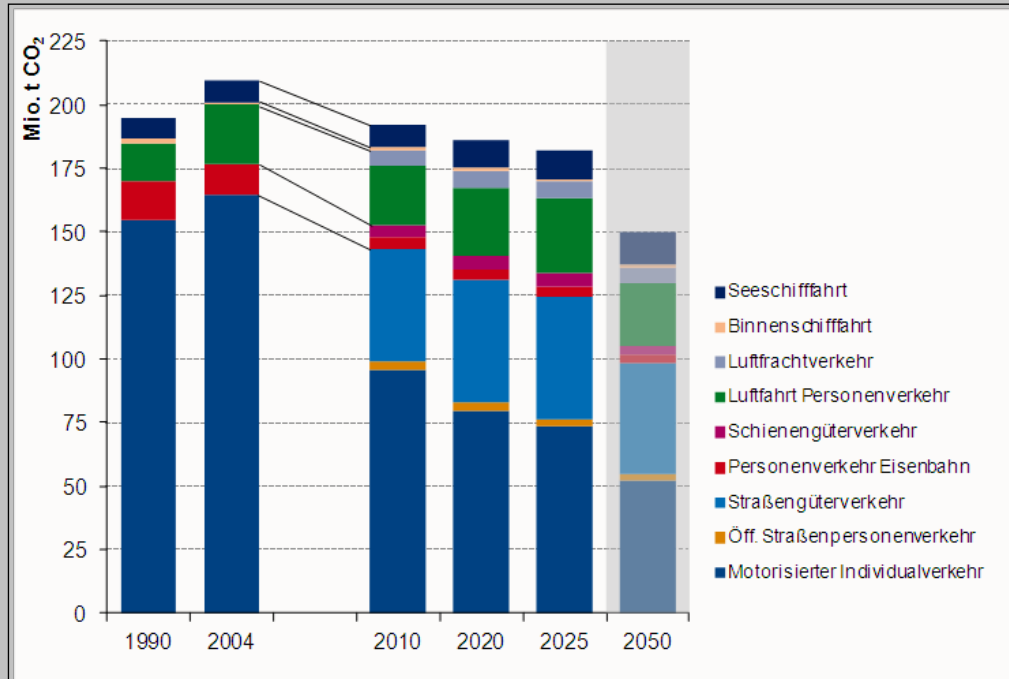
Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

<sup>9</sup> Die CO<sub>2</sub>-Intensität des von der Bahn eingesetzten Stroms unterschied sich 2010 nur unwesentlich von der des in Deutschland insgesamt verbrauchten Stroms. Dies wird als Annahme für den Szenarienzeitraum gesetzt.

**Ergänzende Darstellung der CO<sub>2</sub>-Entwicklung in erweiterter Abgrenzung**

Abbildung 13b: CO<sub>2</sub>-Emissionen inkl. Emissionen der int. Luftfahrt, der Seeschiffahrt, und inkl. indirekte Emissionen durch Stromverbrauch, nach Verkehrszweigen, Referenzszenario, 1990-2050, in Mio. t



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung Kyoto-Protokoll zzgl. Emissionen der int. Luftfahrt und der Seeschiffahrt, zzgl. ind. Emissionen durch Stromverbrauch

## 7 Endenergieverbrauch im Referenzszenario

### 7.1 Endenergieverbrauch nach Verkehrszweigen

(1) Der Endenergieverbrauch des Verkehrs gemäß Energiebilanz verringert sich zwischen 1990 und 2050 um 13,3 %, von 2005 bis 2050 um 20,3 % (vgl. Tabelle 10 sowie Abbildung 14). Der Verbrauchsrückgang im Straßenverkehr ist eine Folge sparsamerer Pkw und Lkw. Im Eisenbahnverkehr, in der Luftfahrt und der Binnenschifffahrt können die Effizienzsteigerungen die Ausweitung der Verkehrsleistung im Zeitraum 2005 - 2050 nicht kompensieren. Im Luftverkehr steigt der Verbrauch bei stark zunehmender Verkehrsleistung bis 2025 deutlich an. Danach schwächt sich die Zunahme der Verkehrsleistung ab, und der Verbrauch geht bei weiter steigender Effizienz zurück.

Tabelle 10: Endenergieverbrauch nach Verkehrszweigen sowie des Seeverkehrs (Bunkerungen) 1990-2050, in PJ, Änderungen gegenüber 1990 und 2005 in %, Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
<b>Endenergieverbrauch gemäß Energiebilanz (EBIL)</b>							
Motorisierter Individualverkehr				1.390,6	1.214,4	1.107,0	795,8
Öff. Straßenpersonenverkehr				41,5	39,3	38,8	39,0
Straßengüterverkehr				646,7	720,4	726,8	662,7
<b>Straßenverkehr insgesamt</b>	<b>2.072,7</b>	<b>2.233,0</b>	<b>2.156,2</b>	<b>2.078,8</b>	<b>1.974,1</b>	<b>1.872,5</b>	<b>1.497,5</b>
Personenverkehr Eisenbahn				36,3	36,0	36,7	38,7
Schienengüterverkehr				31,5	36,7	39,2	46,3
<b>Schienerverkehr insgesamt</b>	<b>82,6</b>	<b>72,2</b>	<b>71,6</b>	<b>67,8</b>	<b>72,6</b>	<b>75,8</b>	<b>84,9</b>
Luftfahrt				320,0	405,9	438,7	367,3
Luftfracht				83,2	97,9	103,3	93,4
<b>Luftverkehr insgesamt</b>	<b>195,8</b>	<b>299,4</b>	<b>344,5</b>	<b>403,3</b>	<b>503,8</b>	<b>542,0</b>	<b>460,7</b>
<b>Binnenschifffahrt</b>	<b>27,7</b>	<b>11,6</b>	<b>13,6</b>	<b>10,8</b>	<b>15,1</b>	<b>15,9</b>	<b>17,7</b>
<b>Verkehr insgesamt nach EBIL</b>	<b>2.378,8</b>	<b>2.616,3</b>	<b>2.585,9</b>	<b>2.561,2</b>	<b>2.566,1</b>	<b>2.506,7</b>	<b>2.061,3</b>
Änderung ggü. 2005				-1,0%	-0,8%	-3,1%	-20,3%
Änderung ggü. 1990		+10,0%	+8,7%	+7,7%	+7,9%	+5,4%	-13,3%
<b>Energieverbrauch des Seeverkehrs</b>							
Seeverkehr	102,6	110,1	103,0	115,0	138,4	146,6	165,0
<b>Verkehr nach EBIL zzgl. Seeverk.</b>	<b>2.481,4</b>	<b>2.726,4</b>	<b>2.688,9</b>	<b>2.676,1</b>	<b>2.704,5</b>	<b>2.653,3</b>	<b>2.226,2</b>
Änderung ggü. 2005				-0,5%	+0,6%	-1,3%	-17,2%
Änderung ggü. 1990		+9,9%	+8,4%	+7,8%	+9,0%	+6,9%	-10,3%
<b>Veränderungsraten in % p.a.</b>			<b>1990-2005</b>	<b>2005-2025</b>	<b>2025-2050</b>	<b>2005-2050</b>	<b>1990-2050</b>
Verkehr insgesamt nach EBIL			+0,4	-0,2	-0,8	-0,5	-0,3
Verkehr nach EBIL zzgl. Seeverk.			+0,4	-0,1	-0,7	-0,4	-0,2

Quelle: eigene Berechnungen

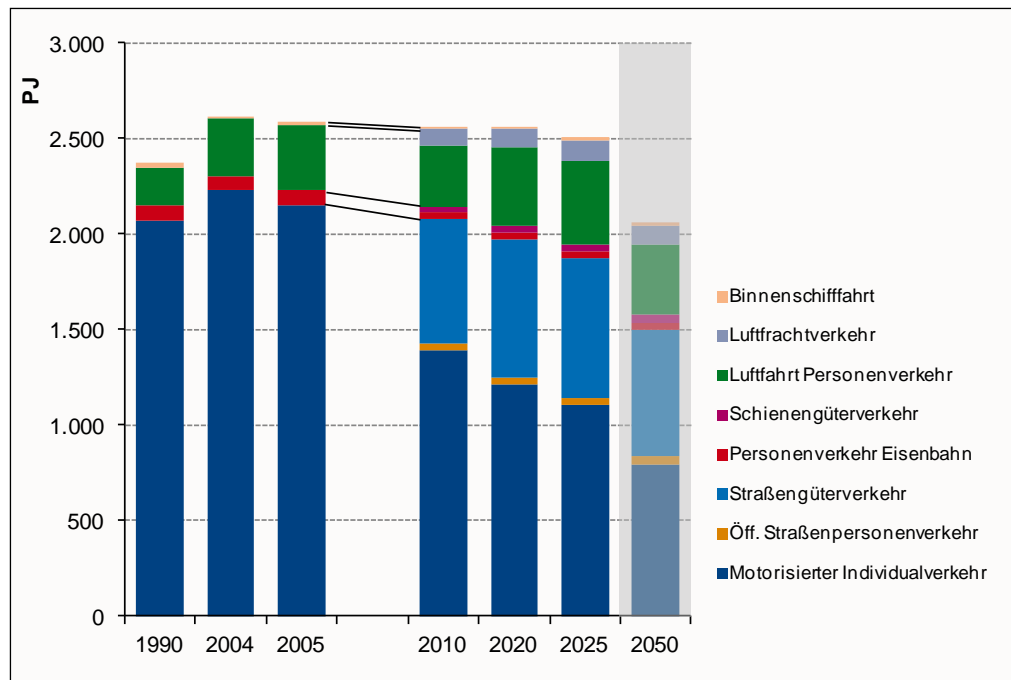
*Straßenbahn und U-Bahn dem ÖSPV bzw. dem Straßenverkehr zugeordnet,*

*ansonsten: Abgrenzung nach Energiebilanz<sup>10</sup>*

*\* Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen*

<sup>10</sup> Einschließlich Absatz an Flugtreibstoffen für internationalen Luftverkehr.

Abbildung 14: Endenergieverbrauch nach Verkehrszweigen 1990-2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Straßenbahn und U-Bahn dem ÖSPV  
 Werte für 1990 und 2004: AG Energiebilanzen  
 bzw. dem Straßenverkehr zugeordnet  
 ansonsten: Abgrenzung nach Energiebilanz  
 (Vgl. Tabelle 10)

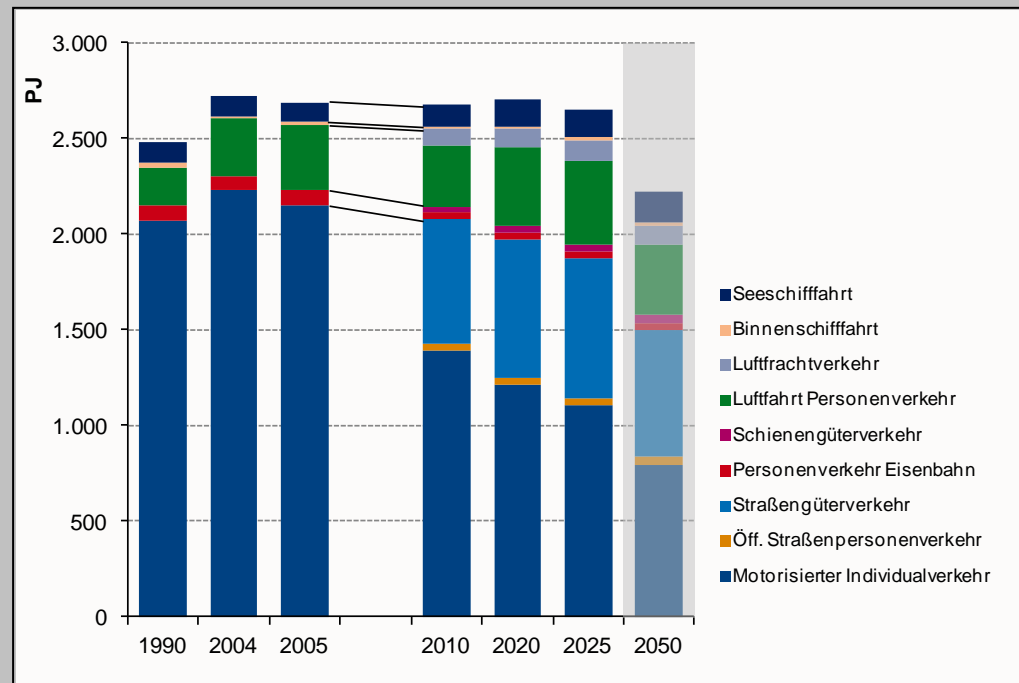
(2) Entscheidend für die Veränderung des Endenergieverbrauchs ist – wie bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen – die Entwicklung im Straßenverkehr, auf den im Jahr 2010 rund 80 % des gesamten Energieeinsatzes im Verkehrssektor entfielen. Der Rückgang des Endenergieverbrauchs im Straßenverkehr um ein Drittel zwischen 2004 und 2050 ist Voraussetzung für den im Zeitablauf sinkenden Endenergieverbrauch im gesamten Verkehrssektor.

(3) Eine Darstellung der Endenergieverbrauchsentwicklung des Verkehrs in erweiterter Abgrenzung findet sich in der Box auf der nachfolgenden Seite.



**Ergänzende Darstellung der Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verkehrszweigen in erweiterter Abgrenzung**

Abbildung 14b: Energieverbrauch nach Verkehrszweigen, inkl. Seeschifffahrt (Bunkerungen), 1990-2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

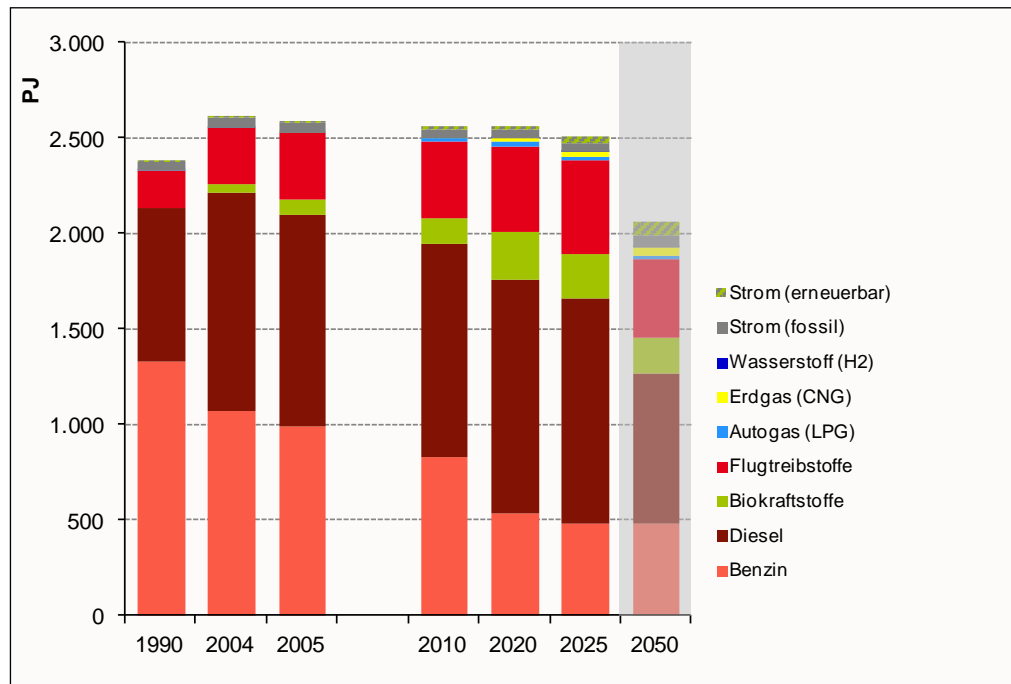
Abgrenzung Energiebilanz zzgl. Seeschifffahrt (Bunkerungen)

Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

## 7.2 Endenergieverbrauch nach Energieträgern

(1) Die wachsende Bedeutung von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Pkw sowie die Nutzung von Biokraftstoffen verringern den Einsatz fossiler Energieträger deutlich. Die Elektrifizierung des Pkw-Bestands führt längerfristig zu einem Anstieg des Strombedarfs, der durch die hohe Effizienz von Elektromotoren aber moderat bleibt. Mittelfristig gewinnen Gasantriebe an Bedeutung - Wasserstoff wird erst nach 2025 serienmäßig eingesetzt (vgl. Abbildung 15 sowie Tabelle 11; eine entsprechende Abbildung und Tabelle für eine erweiterte Abgrenzung ist in der Box am Ende des Kapitels zu finden).

Abbildung 15: Endenergieverbrauch nach Energieträgern 1990-2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz  
(Vgl. Tabelle 10)  
Werte für 1990, 2004: AG Energiebilanzen

Tabelle 11: Endenergieverbrauch nach Energieträgern 1990-2050, in PJ sowie Anteile in %

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Benzin	1.330	1.073	993	834	536	485	481
Diesel	802	1.143	1.109	1.116	1.224	1.171	786
Biokraftstoffe	0	41	77	126	246	238	187
Kerosin	196	299	344	403	453	488	415
Autogas (LPG)	0	2	2	17	21	21	18
Erdgas (CNG)	0	0	3	6	18	24	42
Wasserstoff (H2)	0	0	0	0	0	0	3
Strom	49	58	58	58	67	78	129
<b>Verkehr insgesamt</b>	<b>2.379</b>	<b>2.616</b>	<b>2.586</b>	<b>2.561</b>	<b>2.566</b>	<b>2.507</b>	<b>2.061</b>
Anteile in %	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Benzin	56%	41%	38%	33%	21%	19%	23%
Diesel	34%	44%	43%	44%	48%	47%	38%
Biokraftstoffe	0%	2%	3%	5%	10%	10%	10%
Kerosin	8%	11%	13%	16%	18%	19%	20%
Autogas (LPG)	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
Erdgas (CNG)	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
Wasserstoff (H2)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Strom	2%	2%	2%	2%	3%	3%	6%

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz  
(Vgl. Tabelle 10)  
\* Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

(2) Der Einsatz von Biotreibstoffen leistet einen wesentlichen Beitrag zur Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr. Das im IEKP gesetzte Ziel, bis 2020 rund 17% des Energieeinsatzes durch Biokraftstoffe zu decken, wird mit den bis Ende 2009 beschlossenen Instrumenten deutlich verfehlt. Längerfristig ist davon auszugehen, dass auch außerhalb des Straßenverkehrs Biokraftstoffe eingesetzt werden. Insbesondere im Luftverkehr spielen sie sowohl wegen der Einbeziehung des Luftverkehrs in den Emissionshandel als auch unter Imageaspekten eine wichtige Rolle. Aus pragmatischen Gründen wurden die Beimischungsquoten in den Modellrechnungen für alle Verkehrsträger bis 2050 angeglichen (vgl. Tabelle 12). Die Beimischungsquote wurde bis zum Ende des Betrachtungszeitraums mit 10% auf dem Niveau von 2020 konstant gehalten.

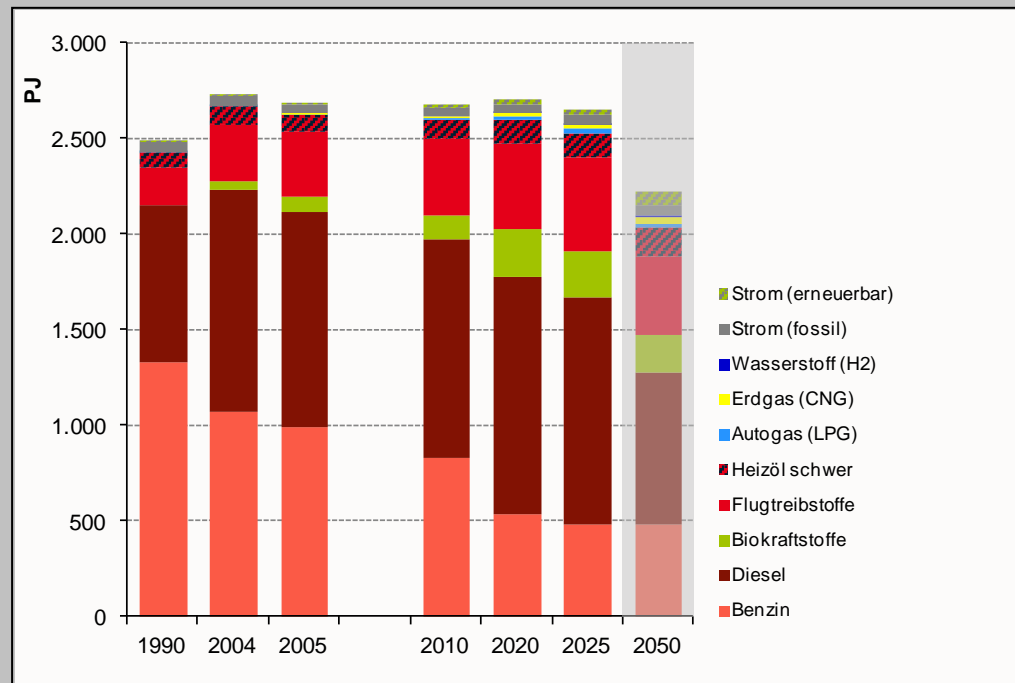
*Tabelle 12: Beimischungsquoten für Biotreibstoffe 1990 – 2050 nach Verkehrszweigen, in %.*

Anteile Biokraftstoffe	1990	2004	2010	2020	2025	2050
Straßenverkehr Benzin	0,0%	0,0%	3,6%	10,0%	10,0%	10,0%
Straßenverkehr Diesel	0,0%	6,1%	8,0%	10,0%	10,0%	10,0%
Schiene, Luft, Binnenschiff.	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	10,0%	10,0%

Quelle: eigene Berechnungen

**Ergänzende Darstellung der Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern in erweiterter Abgrenzung**

Abbildung 15b: Endenergieverbrauch nach Energieträgern, inkl. Seeschifffahrt (Bunkerungen), Referenzszenario, 1990-2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung Energiebilanz zzgl. Seeschifffahrt (Bunkerungen)

Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

**Tabelle 11b: Endenergieverbrauch nach Energieträgern, inkl. Seeschifffahrt (Bunkerungen), Referenzszenario, 1990-2050, in PJ sowie Anteile in %**

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Benzin	1.330	1.073	993	834	536	485	481
Diesel	823	1.161	1.126	1.138	1.240	1.186	799
Biokraftstoffe	0	41	77	126	248	240	188
Kerosin	196	299	344	403	453	488	415
Heizöl schwer	81	92	86	93	121	130	150
Autogas (LPG)	0	2	2	17	21	21	18
Erdgas (CNG)	0	0	3	6	18	24	42
Wasserstoff (H2)	0	0	0	0	0	0	3
Strom	49	58	58	58	67	78	129
<b>Verkehr insgesamt</b>	<b>2.481</b>	<b>2.726</b>	<b>2.689</b>	<b>2.676</b>	<b>2.705</b>	<b>2.653</b>	<b>2.226</b>
Anteile in %	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Benzin	56%	41%	38%	33%	21%	19%	23%
Diesel	35%	44%	44%	44%	48%	47%	39%
Heizöl schwer	0%	2%	3%	5%	10%	10%	9%
Biokraftstoffe	8%	11%	13%	16%	18%	19%	20%
Kerosin	3%	4%	3%	4%	5%	5%	7%
Autogas (LPG)	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
Erdgas (CNG)	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
Wasserstoff (H2)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Strom	2%	2%	2%	2%	3%	3%	6%

Quelle: eigene Berechnungen

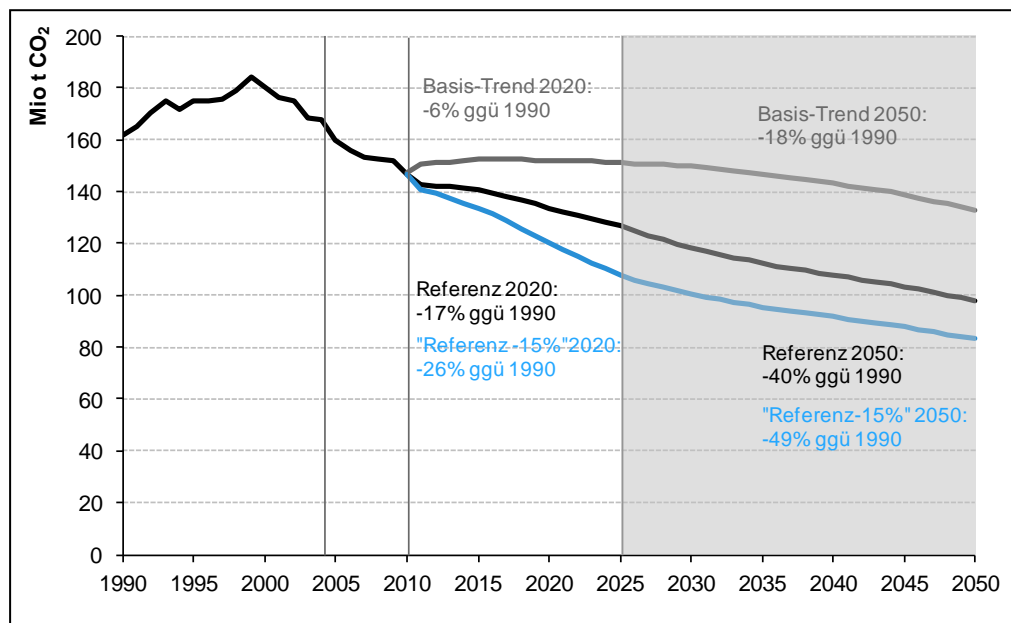
Abgrenzung Energiebilanz zzgl. Seeschifffahrt (Bunkerungen)  
Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

## 8 Einsparpotenziale insgesamt und ausgewählter politischer Initiativen im Referenzszenario

### 8.1 Maßnahmenwirkung insgesamt im Überblick

(1) Die Gesamtwirkungen der bis Ende 2009 ergriffenen politischen Instrumente auf die Ausprägung der technischen Umsetzungsmaßnahmen und deren Wirkung auf die Zielgrößen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch wurde modellmäßig quantifiziert (vgl. Abschnitt 5.1). Daraus lässt sich der Unterschied von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch zwischen dem Referenzszenario (mit Wirkung von politischen Initiativen, die bis Ende 2009 ergriffen worden sind) und Basis-Trendszenario (ohne Wirkung dieser politischen Initiativen) ableiten (vgl. Abbildung 16; eine Darstellung für eine erweiterte Abgrenzung ist in der Box auf der nachfolgenden Seite zu finden). Ergänzend ist hier bereits auch der Verlauf für die vereinbarte Variantenrechnung „Referenz minus 15 %“ dargestellt (vgl. hierzu die Kapitel 1, Kapitel 3 sowie Kapitel 10).

Abbildung 16: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzszenario, im Basis-Trendszenario ohne Maßnahmen und in der Variante „Referenz minus 15 %“, 1990 - 2050, Mio. t.



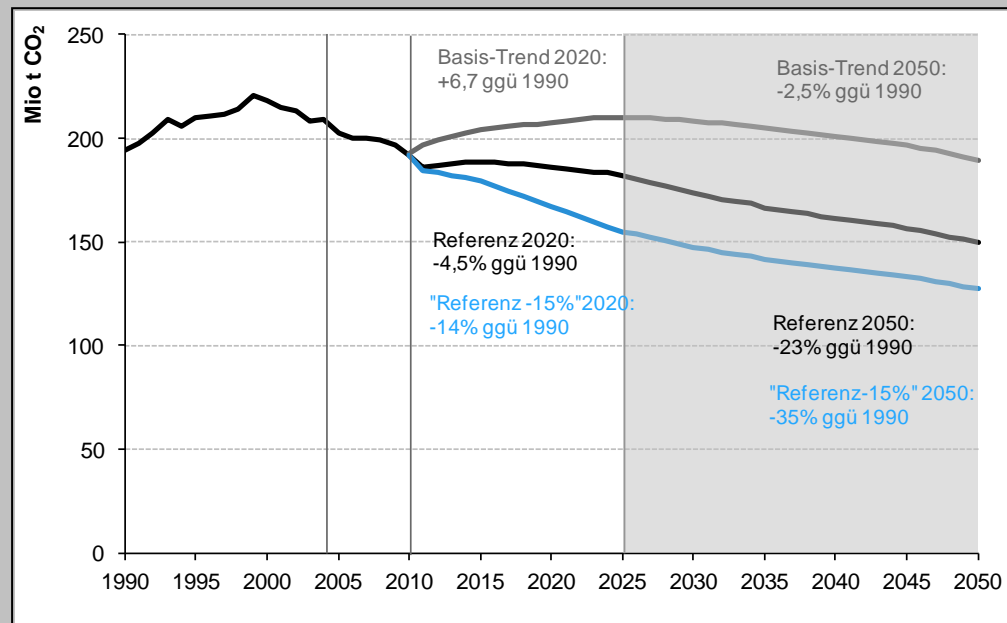
Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

Werte für 1990-2009: UBA Treibhausgasinventar

**Ergänzende Darstellung der CO<sub>2</sub>-Entwicklung in erweiterter Abgrenzung**

Abbildung 16b: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzszenario, im Basis-Trendszenario ohne Maßnahmen und in der Variante „Referenz minus 15%“, Abgrenzung inkl. Emissionen der int. Luftfahrt, der Seeschifffahrt, und inkl. indirekte Emissionen durch Stromverbrauch, nach Verkehrszweigen, 1990 - 2050, in Mio. t CO<sub>2</sub>



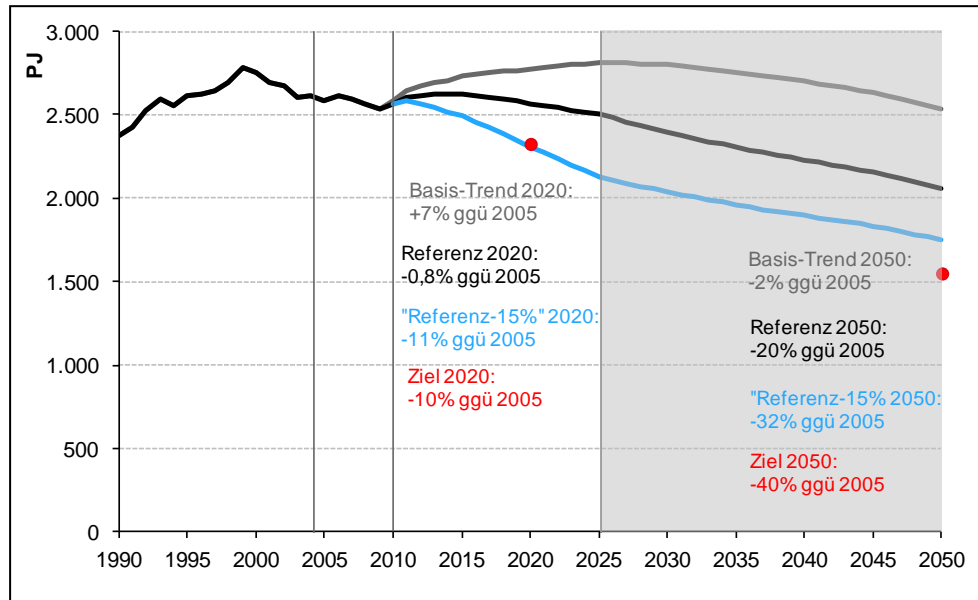
Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung Kyoto-Protokoll zzgl. Emissionen der int. Luftfahrt und der Seeschifffahrt, zzgl. ind. Emissionen durch Stromverbrauch

(2) Die Gesamtwirkung der hier betrachteten politischen Instrumente senkt die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber der Basis-Trendentwicklung im Jahr 2020 um 18 Mio. t. Bis zum Jahr 2050 wächst die Differenz auf 35 Mio. t an, gegenüber der Basis-Trendentwicklung entspricht das einer Minderung um rund 26 %.

(3) Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden durch den Einsatz der Instrumente stärker abgesenkt als der Endenergieverbrauch (vgl. Abbildung 17; eine analoge Darstellung der Endenergieverbrauchsentwicklung des Verkehrs in erweiterter Abgrenzung findet sich in der Box auf der übernächsten Seite). Dies ist dadurch zu erklären, dass ein Teil der Maßnahmen zwar die spezifischen Emissionen reduziert (Einsatz von Biokraftstoffen), nicht aber den Verbrauch von Endenergie.

Abbildung 17: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Referenzszenario, im Basis-Trendszenario ohne Maßnahmen und in der Variante „Referenz minus 15%“ 1990 – 2050 sowie Ziele 2020 und 2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

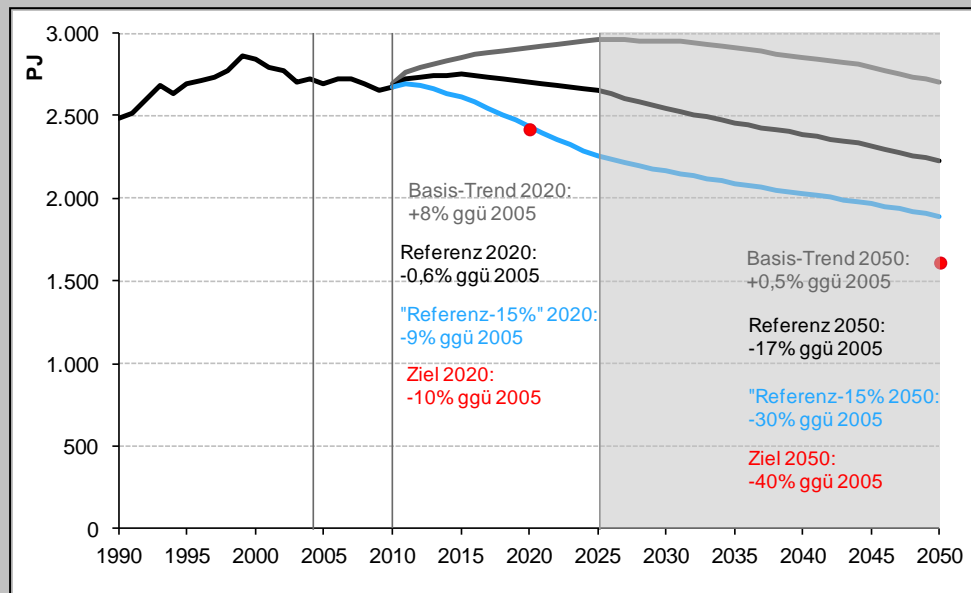
Abgrenzung gemäß Energiebilanz

(Vgl. Tabelle 10)

\* Werte für 1990-2009: AG Energiebilanzen

**Ergänzende Darstellung der Entwicklung des Endenergieverbrauchs in erweiterter Abgrenzung**

Abbildung 17b: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Referenzszenario, im Basis-Trendszenario ohne Maßnahmen und in der Variante „Referenz minus 15%“, Abgrenzung inkl. Seeschifffahrt (Bunkerungen) 1990 – 2050 sowie Ziele 2020 und 2050, in PJ.



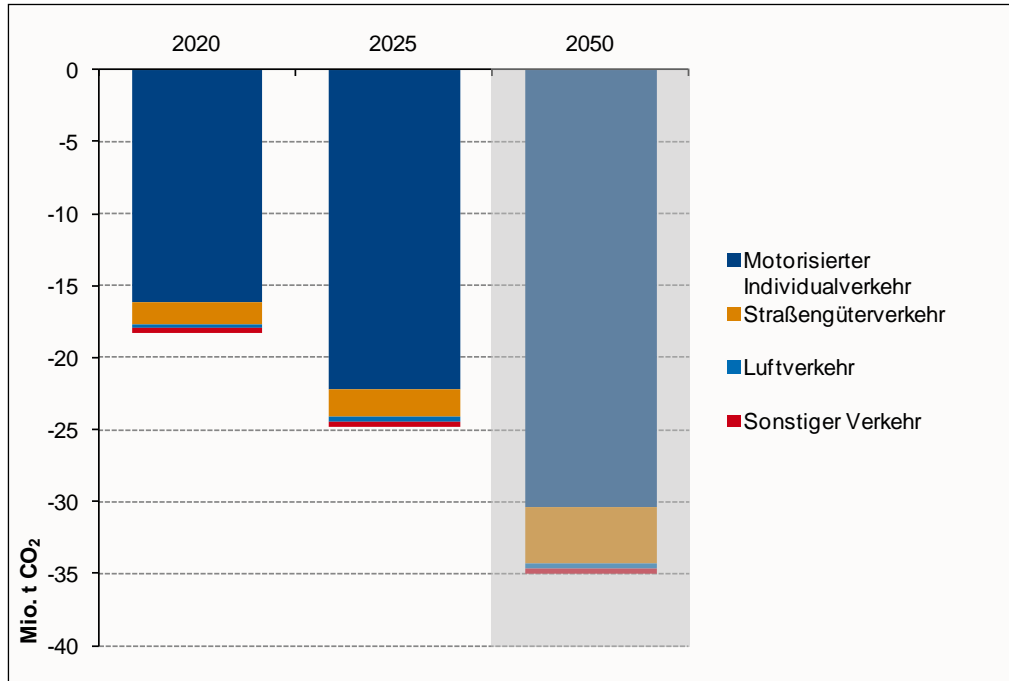
Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung Energiebilanz zzgl. Seeschifffahrt (Bunkerungen)  
Daten für 1990-2009: AG Energiebilanzen

(4) Die größte CO<sub>2</sub>-Absenkung ist im Motorisierten Individualverkehr (MIV) zu verzeichnen; sie macht im Jahr 2020 rund 89 % der Gesamtminderung aus (vgl. Abbildung 18 und Tabelle 13 auf den nachfolgenden Seiten). Etwa 8 % der Gesamtminderung in 2020 entstehen im Straßengüterverkehr und knapp 2 % im Luftverkehr. Durch die leicht gesteigerte Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr und Binnenschifffahrt steigen die Emissionen in diesen Bereichen leicht an. Dieser Anstieg macht jedoch einen verschwindend geringen Anteil der Gesamtänderung aus.



Abbildung 18: Maßnahmenbedingte CO<sub>2</sub>-Einsparungen gegenüber der Basis-Trendentwicklung nach Verkehrszweigen 2020, 2025 und 2050, in Mio. t



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

Tabelle 13: Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzszenario gegenüber dem Basis-Trendszenario nach Verkehrszweigen 2020, 2025 und 2050, in Mio. t und in % sowie Anteil an der Gesamteinsparung in %.

Änderung ggü. Basis-Trend absolut in Mio. t	2020	2025	2050
Motorisierter Individualverkehr	-16,2	-22,2	-30,4
Öff. Straßenpersonenverkehr	0,0	0,0	0,0
Straßengüterverkehr	-1,5	-1,8	-3,9
Schienenverkehr	-0,1	-0,1	-0,1
Luftverkehr	-0,3	-0,4	-0,4
Binnenschifffahrt	-0,1	-0,1	-0,1
<b>Verkehr insgesamt</b>	<b>-18,2</b>	<b>-24,7</b>	<b>-34,9</b>
Änderung ggü. Basis-Trend	2020	2025	2050
Motorisierter Individualverkehr	-16,9%	-23,6%	-38,8%
Öff. Straßenpersonenverkehr	-0,5%	-0,5%	-0,5%
Straßengüterverkehr	-3,0%	-3,7%	-8,1%
Schienenverkehr	-9,9%	-9,9%	-10,0%
Luftverkehr	-11,8%	-13,2%	-19,9%
Binnenschifffahrt	-10,0%	-10,0%	-10,0%
<b>Verkehr insgesamt</b>	<b>-12,0%</b>	<b>-16,3%</b>	<b>-26,3%</b>
Anteil an Gesamtreduktion ggü. Basis-Trend	2020	2025	2050
Motorisierter Individualverkehr	88,9%	90,1%	87,0%
Öff. Straßenpersonenverkehr	0,1%	0,0%	0,0%
Straßengüterverkehr	8,2%	7,5%	11,1%
Schienenverkehr	0,6%	0,4%	0,3%
Luftverkehr	1,6%	1,4%	1,1%
Binnenschifffahrt	0,6%	0,5%	0,4%

Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

## 8.2 Einzelwirkung ausgewählter politischer Initiativen

(1) Politische Entscheidungsträger sind in der Regel daran interessiert, die Wirksamkeit einzelner politischer Initiativen zu messen, um Effektivität und Effizienz ihres Handelns beurteilen zu können. Das dabei auftretende Problem ist, dass verschiedene politische Initiativen dieselben Maßnahmen adressieren und dass einzelne Maßnahmen von verschiedenen Initiativen angesprochen werden können (vgl. Abbildung 10). Prinzipiell lässt sich neben der kombinierten Maßnahmenwirkung auch die isolierte Minderungswirkung einzelner Maßnahmen oder von Maßnahmenkombinationen abbilden. Modelltechnisch werden dafür die entsprechenden Parameter des Modells einzeln variiert. Im Allgemeinen ist die Gesamtwirkung durch die Maßnahmen aber kleiner als die Summe der Einzelwirkungen („Subadditivität“), sofern die Maßnahmenwirkungen miteinander verbunden sind. Auf der Ebene von politischen Initiativen ist prinzipiell das gleiche Vorgehen möglich, aber wiederum mit dem Problem der Subadditivität verbunden, sofern verschiedene politische Initiativen in ihren Wirkungen miteinander verbundene Maßnahmen adressieren.

(2) Um dennoch bestimmte Typen von politischen Initiativen hinsichtlich ihrer Einzelwirkung betrachten zu können, wurden vier politische Initiativen szenarioartig so definiert, dass sie isoliert („disjunkt“) wirken. Dazu wurden die folgenden vier politischen Initiativen als „Szenarien politischer Initiativen“ ausgewählt und hinsichtlich des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen miteinander verglichen:

- EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw
- Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität (NEPE)
- Ausbau von Biokraftstoffen und Anhebung der Beimischungsquote
- Lkw-Maut

(3) Nachfolgend werden diese politischen Initiativen konkretisiert und die jeweilige Operationalisierung sowie die Szenarienergebnisse beschrieben. Zusätzlich werden zwei Sensitivitätsrechnungen zum Referenzszenario mit abweichenden Annahmen zum Einsatz von Biokraftstoffen durchgeführt, und der Biomasseeinsatz in den einzelnen Szenarien und Sensitivitäten wird mit dem in Deutschland nachhaltig verfügbaren Biomassepotenzial verglichen.

(4) Bei der Erstellung der Szenarien zu den isolierten Wirkungen der politischen Initiativen aus dem Referenzszenario wurde wie folgt vorgegangen:

- Zunächst wurden die verkehrlichen und energetischen Modellgrößen identifiziert, die primär durch die betrachtete politische Initiative beeinflusst werden.
- Anschließend wurden - ausgehend vom Basis-Trendszenario - die jeweils relevanten Modellparameter auf die Werte des Referenzszenarios gesetzt.

(5) Bei der Interpretation der Szenarienergebnisse ist Folgendes zu beachten:

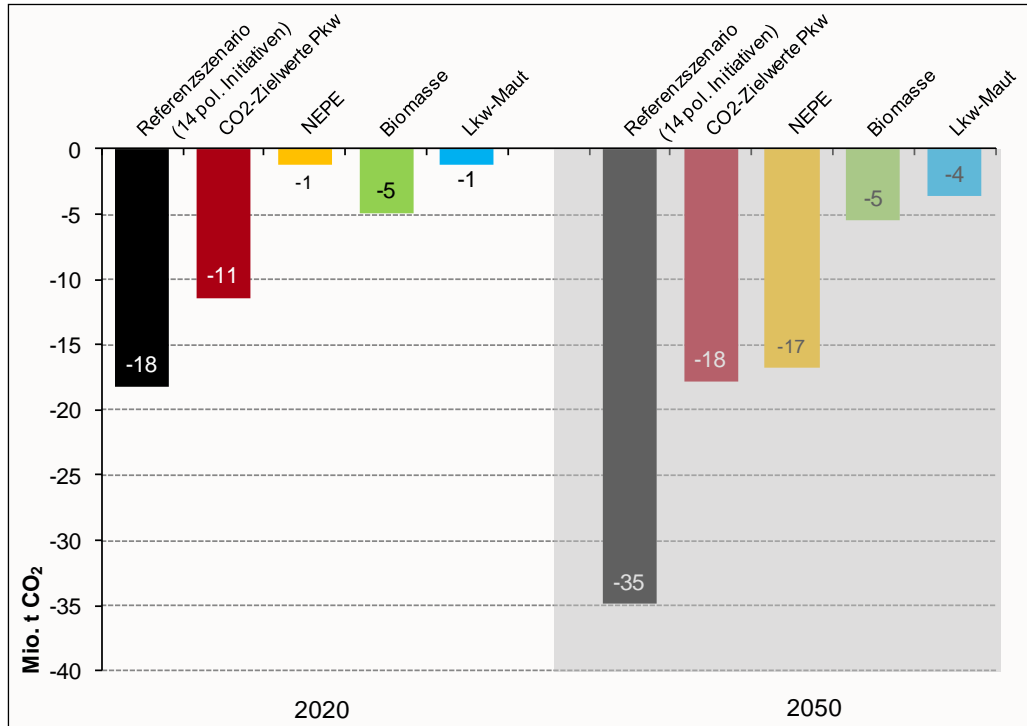
- Es wurde nur ein Teil der insgesamt 15 im Referenzszenario betrachteten Initiativen in isolierten Wirkungsszenarien untersucht.
- Die Minderungswirkungen der einzelnen politischen Initiativen können wegen bestehender Überschneidungen nicht addiert werden.
- Die Ergebnisse der Berechnungen können nur bei Kenntnis der jeweils gewählten Operationalisierung richtig interpretiert werden.

### 8.2.1 Wirkungsvergleich der vier isoliert untersuchten politischen Initiativen aus dem Referenzszenario

(1) In Abbildung 19 werden die vier untersuchten politischen Initiativen einerseits sowie alle im Referenzszenario berücksichtigten Maßnahmen andererseits in ihrer *CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungswirkung* gegenüber dem Basis-Trendszenario in den Jahren 2020 und 2050 verglichen. Die wichtigsten Befunde sind:

- Die beiden politischen Initiativen „EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte Pkw“ und „Biomasse“ haben kurzfristig die größte isolierte Wirkung.
- Der „Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität“ (NEPE) ist insbesondere langfristig von Bedeutung.
- Insgesamt existieren große Unterschiede, wann die politischen Initiativen wirken.
- Die Lkw-Maut hat eine vergleichsweise geringe Wirkung im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Im Jahr 2020 entspricht die Summe der Minderungswirkung der vier untersuchten Initiativen nur zufällig der Gesamtwirkung der im Referenzszenario berücksichtigten Initiativen.

Abbildung 19: Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Basis-Trendszenario: Referenzszenario und isolierte Wirkung ausgewählter politischer Initiativen, 2020 und 2050, in Mio. t



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

Tabelle 14: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenarien der vier isoliert betrachteten politischen Initiativen, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert	161,9	167,9	145,4	140,5	136,0	115,0
NEPE isoliert	161,9	167,9	147,2	150,7	147,6	116,0
Biomasse isoliert	161,9	167,9	147,2	147,1	146,3	127,3
Lkw-Maut isoliert	161,9	167,9	147,2	150,8	149,7	129,2
Abweichung von Basis-Trendszenario			2010	2020	2025	2050
Referenzszenario			-0,6%	-12,0%	-16,3%	-26,3%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert			-1,2%	-7,5%	-10,1%	-13,4%
NEPE isoliert			0,0%	-0,8%	-2,4%	-12,6%
Biomasse isoliert			0,0%	-3,2%	-3,3%	-4,1%
Lkw-Maut isoliert			0,0%	-0,8%	-1,0%	-2,7%
Veränderung ggü. 1990			2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario			-9,1%	-6,2%	-6,6%	-18,0%
Referenzszenario			-9,6%	-17,4%	-21,8%	-39,5%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert			-10,2%	-13,2%	-16,0%	-29,0%
NEPE isoliert			-9,1%	-6,9%	-8,8%	-28,3%
Biomasse isoliert			-9,1%	-9,2%	-9,6%	-21,4%
Lkw-Maut isoliert			-9,1%	-6,9%	-7,5%	-20,2%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert		+0,3	-1,0	-0,7	-0,8	-0,7
NEPE isoliert		+0,3	-0,6	-1,0	-0,8	-0,7
Biomasse isoliert		+0,3	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5
Lkw-Maut isoliert		+0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

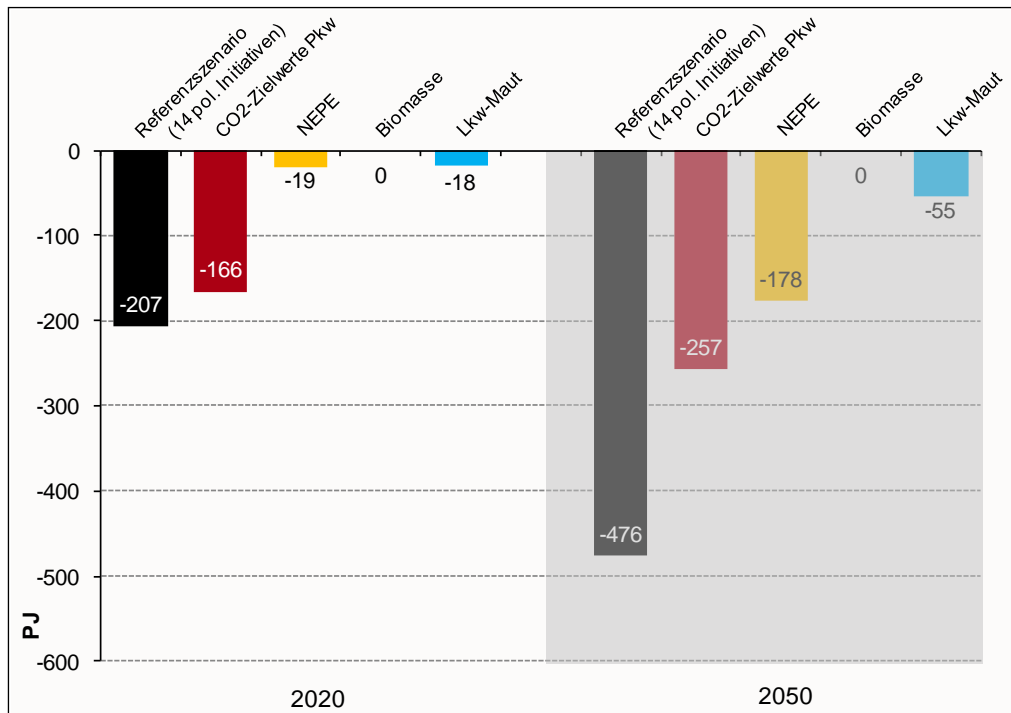
\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

(2) Abbildung 20 zeigt die Wirkung der vier untersuchten politischen Initiativen sowie aller im Referenzszenario berücksichtigten Initiativen auf den *Endenergieverbrauch* gegenüber dem Basis-Trendszenario für die Jahre 2020 und 2050. Hier sollen folgende Befunde herausgestellt werden:

- Insgesamt ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei dem Vergleich der CO<sub>2</sub>-Minderung.
- Die EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte Pkw hat kurz- und langfristig die größte isolierte Wirkung.
- Die politischen Initiativen zur Biomasse haben (definitionsgemäß) keinen Einfluss auf den Endenergieverbrauch.

- Der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität ist insbesondere langfristig von Bedeutung.
- Die Lkw-Maut hat auch im Hinblick auf den Endenergieverbrauch eine geringe Wirkung.

Abbildung 20: Veränderung des Endenergieverbrauchs gegenüber dem Basis-Trendszenario: Referenzszenario und isolierte Wirkung ausgewählter politischer Initiativen, 2020 und 2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

**Tabelle 15:** Vergleich des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors: Szenarien der vier isoliert betrachteten politischen Initiativen, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert	2.379	2.616	2.586	2.558	2.608	2.590	2.281
NEPE isoliert	2.379	2.616	2.586	2.583	2.754	2.772	2.360
Biomasse isoliert	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Lkw-Maut isoliert	2.379	2.616	2.586	2.583	2.755	2.789	2.483
Abweichung von Basis-Trendszenario				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-0,9%	-7,5%	-10,9%	-18,8%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert				-1,0%	-6,0%	-7,9%	-10,1%
NEPE isoliert				0,0%	-0,7%	-1,4%	-7,0%
Biomasse isoliert				0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lkw-Maut isoliert				0,0%	-0,7%	-0,8%	-2,1%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario				-0,1%	7,2%	8,7%	-1,9%
Referenzszenario				-1,0%	-0,8%	-3,1%	-20,3%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert				-1,1%	0,8%	0,2%	-11,8%
NEPE isoliert				-0,1%	6,5%	7,2%	-8,7%
Biomasse isoliert				-0,1%	7,2%	8,7%	-1,9%
Lkw-Maut isoliert				-0,1%	6,5%	7,8%	-4,0%
Veränderungsraten in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert			+0,6	+0,0	-0,5	-0,3	-0,1
NEPE isoliert			+0,6	+0,3	-0,6	-0,2	-0,0
Biomasse isoliert			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1
Lkw-Maut isoliert			+0,6	+0,4	-0,5	-0,1	+0,1

Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

## 8.2.2 Einzelbetrachtung der „EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw“

### 8.2.2.1 Konkretisierung und Operationalisierung

#### Politische Initiative:

- EU-Verordnung Nr. 443/2009
  - in Kraft seit 8. Juni 2009
  - Flottenzielwert für neue Pkw
    - 130 g CO<sub>2</sub> / km (stufenweise Einführung 2012 - 2015)
    - 95 g CO<sub>2</sub> / km ab 2020



- Ausnahmeregelungen
  - für Hersteller mit Neuzulassungen von weniger als 10.000 Fahrzeugen p.a.
  - bei Einsatz innovativer Technologien:  
Erhöhung des Zielwertes um max. 7 g CO<sub>2</sub> / km

**Operationalisierung:**

- Antriebsstruktur der Neuzulassungen wird vom Basis-Trendszenario übernommen.
- Spezifische Verbräuche werden übernommen
  - aus dem Referenzszenario für Pkw mit Benzin-, Diesel-, Hybrid-, CNG- und LPG-Antrieb,
  - aus dem Basis-Trendszenario für Pkw mit Elektro-, Plug-In- und H<sub>2</sub>-Antrieb.

**8.2.2.2 Ergebnisse**

*Tabelle 16: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung der EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen ggü. 1990 in % sowie Veränderungsrate in % p.a.*

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert	161,9	167,9	145,4	140,5	136,0	115,0
Abweichung von Basis-Trendszenario			2010	2020	2025	2050
Referenzszenario			-1%	-12%	-16%	-26%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert			-1%	-8%	-10%	-13%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario		+4%	-9%	-6%	-7%	-18%
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert		+4%	-10%	-13%	-16%	-29%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert		+0,3	-1,0	-0,7	-0,8	-0,7

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

Tabelle 17: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung der EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert	2.379	2.616	2.586	2.558	2.608	2.590	2.281
Abweichung von Basis-Trendszenario				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1%	-7%	-11%	-19%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert				-1%	-6%	-8%	-10%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario				-0%	+7%	+9%	-2%
Referenzszenario				-1%	-1%	-3%	-20%
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert				-1%	+1%	+0%	-12%
Veränderungsraten in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
CO <sub>2</sub> -Zielwerte Pkw isoliert			+0,6	+0,0	-0,5	-0,3	-0,1

Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

## 8.2.3 Einzelbetrachtung „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“

### 8.2.3.1 Konkretisierung und Operationalisierung

#### Politische Initiativen:

- Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung (NEPE)
  - verabschiedet: im August 2009
  - Bestandsziele für Elektrofahrzeuge:
    - 1 Millionen (bis 2020)
    - 5 Millionen (bis 2030)
- Förderung von Pilotprojekten und Forschung im Konjunkturpaket II:
  - Bundesmittel in Höhe von 500 Millionen Euro im Zeitraum 2009 - 2011

**Operationalisierung:**

- Antriebsstruktur der Neuzulassungen:
  - werden übernommen aus Referenzszenario für Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybride.
  - Anteile der anderen Antriebe entsprechen dem Basis-Trendszenario (anfangs linear reduziert wegen Mehrzulassung von E-Pkw / Plug-In-Hybride).
  - Gesamtzahl der Neuzulassungen wird dann leicht erhöht, um die geforderte Gesamtfahrleistung zu erreichen (spezifische Jahresfahrleistung E-Pkw, Plug-In-Hybride kleiner als mit konventionellen Antrieben).
  
- spezifische Verbräuche werden übernommen
  - aus Referenzszenario für Elektro-Pkw, Plug-In-Hybride,
  - aus Basis-Trendszenario für Benzin, Diesel, Hybrid, CNG, LPG, H<sub>2</sub>.

**8.2.3.2 Ergebnisse**

*Tabelle 18: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung des NEPE, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.*

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
NEPE isoliert	161,9	167,9	147,2	150,7	147,6	116,0
Abweichung von Basis-Trendszenario			2010	2020	2025	2050
Referenzszenario			-1%	-12%	-16%	-26%
NEPE isoliert			0%	-1%	-2%	-13%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario		+4%	-9%	-6%	-7%	-18%
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
NEPE isoliert		+4%	-9%	-7%	-9%	-28%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
NEPE isoliert		+0,3	-0,6	-1,0	-0,8	-0,7

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

Tabelle 19: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung des NEPE, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
NEPE isoliert	2.379	2.616	2.586	2.583	2.754	2.772	2.360
Abweichung von Basis-Trendszenario				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1%	-7%	-11%	-19%
NEPE isoliert				0%	-1%	-1%	-7%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario				-0%	+7%	+9%	-2%
Referenzszenario				-1%	-1%	-3%	-20%
NEPE isoliert				-0%	+7%	+7%	-9%
Veränderungsrate in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
NEPE isoliert			+0,6	+0,3	-0,6	-0,2	-0,0

Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

## 8.2.4 Einzelbetrachtung „Ausbau von Biokraftstoffen und Erhöhung der Beimischungsquote“

### 8.2.4.1 Konkretisierung und Operationalisierung

#### Politische Initiative:

- Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen (BioKraft-FÄndG)
  - Änderung des BImSchG, in Kraft seit 21. Juli 2009
  - Verpflichtung der Mineralölwirtschaft:
    - kalorischer Mindestanteil von Biokraftstoffen an Motorenbenzin und Dieselkraftstoffen
    - 2009: 5,25 %
    - 2010 bis 2014: 6,25 %
  - Minderung der THG-Emissionen der Gesamtmenge an Otto- und Dieselkraftstoff und des ersetzenden Biokraftstoffs
    - ab 2015 um 3 %
    - ab 2017 um 4,6 %
    - ab 2020 um 7 %
    - kann auch durch Bio-Erdgas erfüllt werden.

**Operationalisierung:**

- Ausgehend vom Basis-Trendszenario, werden die Beimischungsquoten für Biokraftstoffe auf die Werte des Referenzszenarios angehoben.

**8.2.4.2 Ergebnisse**

*Tabelle 20: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung des Ausbaus von Biokraftstoffen, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.*

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Biomasse isoliert	161,9	167,9	147,2	147,1	146,3	127,3
Abweichung von Basis-Trendszenario			2010	2020	2025	2050
Referenzszenario			-1%	-12%	-16%	-26%
Biomasse isoliert			0%	-3%	-3%	-4%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario		+4%	-9%	-6%	-7%	-18%
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
Biomasse isoliert		+4%	-9%	-9%	-10%	-21%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
Biomasse isoliert		+0,3	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

**Tabelle 21:** *Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung des Ausbaus von Biokraftstoffen und der Beimischungsquote, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.*

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
Biomasse isoliert	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Abweichung von Basis-Trendszenario				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1%	-7%	-11%	-19%
Biomasse isoliert				0%	0%	0%	0%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario				-0%	+7%	+9%	-2%
Referenzszenario				-1%	-1%	-3%	-20%
Biomasse isoliert				-0%	+7%	+9%	-2%
Veränderungsdaten in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
Biomasse isoliert			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1

Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

### 8.2.4.3 Sensitivität gegenüber dem Referenzszenario: Festhalten der Beimischungsquote auf dem Status Quo 2011 (5,6 % im Landverkehr<sup>11</sup>)

Ausgehend vom Referenzszenario werden die Beimischungsquoten für Biokraftstoffe auf den Wert von 2011 gesetzt und bis 2050 konstant gehalten. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 22.

<sup>11</sup> Straßenverkehr, Schienenverkehr und Binnenschifffahrt.

**Tabelle 22:** CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Sensitivität ggü. Referenzszenario: „Konstante Biokraftstoffquote von 5,6 % im Landverkehr“, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Sensitivität Referenz Bio 5,6%	161,9	167,9	146,4	140,3	132,8	102,6
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
Sensitivität Referenz Bio 5,6%			0,0%	4,9%	4,9%	4,8%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario		+4%	-9%	-6%	-7%	-18%
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
Sensitivität Referenz Bio 5,6%		+4%	-10%	-13%	-18%	-37%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
Sensitivität Referenz Bio 5,6%		+0,3	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0

Quelle: eigene Berechnungen

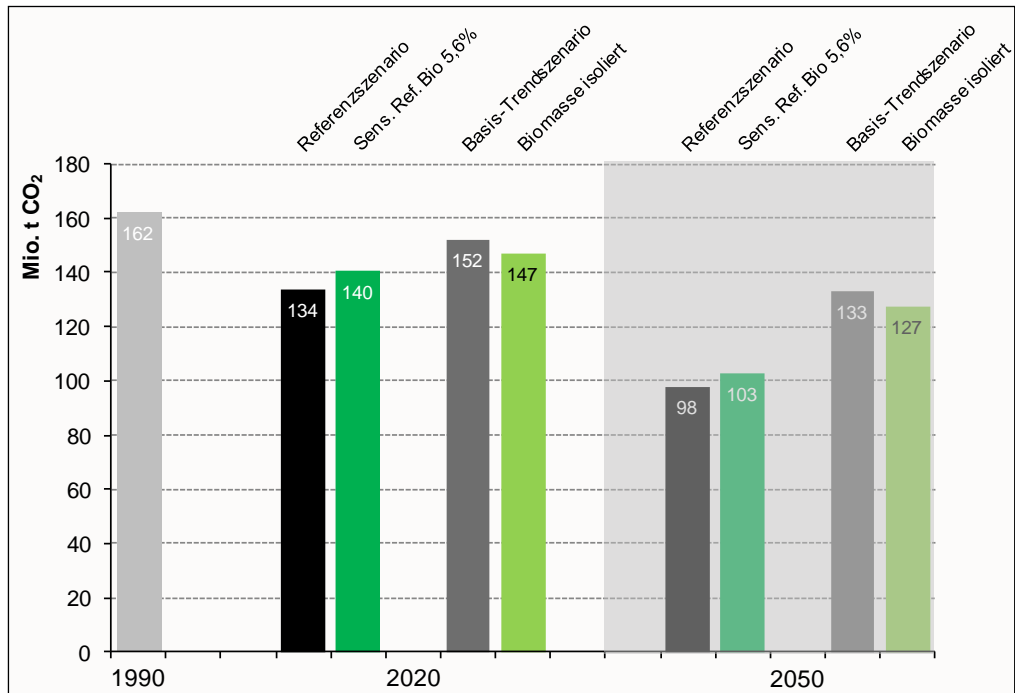
Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

#### 8.2.4.4 Vergleich der Szenarien und Sensitivitäten zum Einsatz von Biokraftstoffen bezüglich ihrer Wirkung auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen

Abbildung 21 und Tabelle 23 zeigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Referenzszenario, in dem die Beimischungsquote ab 2011 10 % beträgt und die Sensitivität „Konstante Biokraftstoffquote von 5,6% im Landverkehr“. Zusätzlich sind die Emissionen des Basis-Trendszenarios und des Szenarios „Biomasse isoliert“ dargestellt, in welchem die Beimischungsquote des Referenzszenarios auf das Basis-Trendszenario angewendet wurden. In allen betrachteten Varianten wurden die Beimischungsquoten ab 2011 konstant gehalten. Im Referenzszenario und im Szenario „Biomasse isoliert“ führen die mit 10% leicht höheren Beimischungsquoten zu niedrigeren Emissionen als in den jeweiligen Vergleichsszenarien. Die Minderung der Emissionen im Referenzszenario gegenüber dem Basis-Trendszenario wird hauptsächlich durch Energieeinsparung erreicht – der verstärkte Einsatz von Biotreibstoffen hat demgegenüber unter den getroffenen Annahmen eine deutlich geringere Wirkung.

Abbildung 21: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors in den Sensitivitäten „Konstante Biokraftstoffquote von 5,6 % im Landverkehr“ und im Szenario „Biomasse isoliert“, im Basis-Trendszenario und im Referenzszenario, 1990-2050, in Mio. t.



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

Wert für 1990: UBA Treibhausgasinventar



Tabelle 23: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors in den Sensitivitäten „Konstante Biokraftstoffquote von 5,6 % im Landverkehr“, im Szenario „Biomasse isoliert“, im Basis-Trendszenario und im Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trend- und Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Biomasse isoliert	161,9	167,9	147,2	147,1	146,3	127,3
Sensitivität Referenz Bio 5,6%	161,9	167,9	146,4	140,3	132,8	102,6
Abweichung von Basis-Trendszenario			2010	2020	2025	2050
Referenzszenario			-0,6%	-12,0%	-16,3%	-26,3%
Biomasse isoliert			0,0%	-3,2%	-3,3%	-4,1%
Sensitivität Referenz Bio 5,6%			-0,6%	-7,6%	-12,2%	-22,7%
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
Biomasse isoliert			0,6%	9,9%	15,6%	30,0%
Sensitivität Referenz Bio 5,6%			0,0%	4,9%	4,9%	4,8%
Veränderung ggü. 1990			2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario			-9,1%	-6,2%	-6,6%	-18,0%
Referenzszenario			-9,6%	-17,4%	-21,8%	-39,5%
Biomasse isoliert			-9,1%	-9,2%	-9,6%	-21,4%
Sensitivität Referenz Bio 5,6%			-9,6%	-13,3%	-18,0%	-36,6%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
Biomasse isoliert		+0,3	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5
Sensitivität Referenz Bio 5,6%		+0,3	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

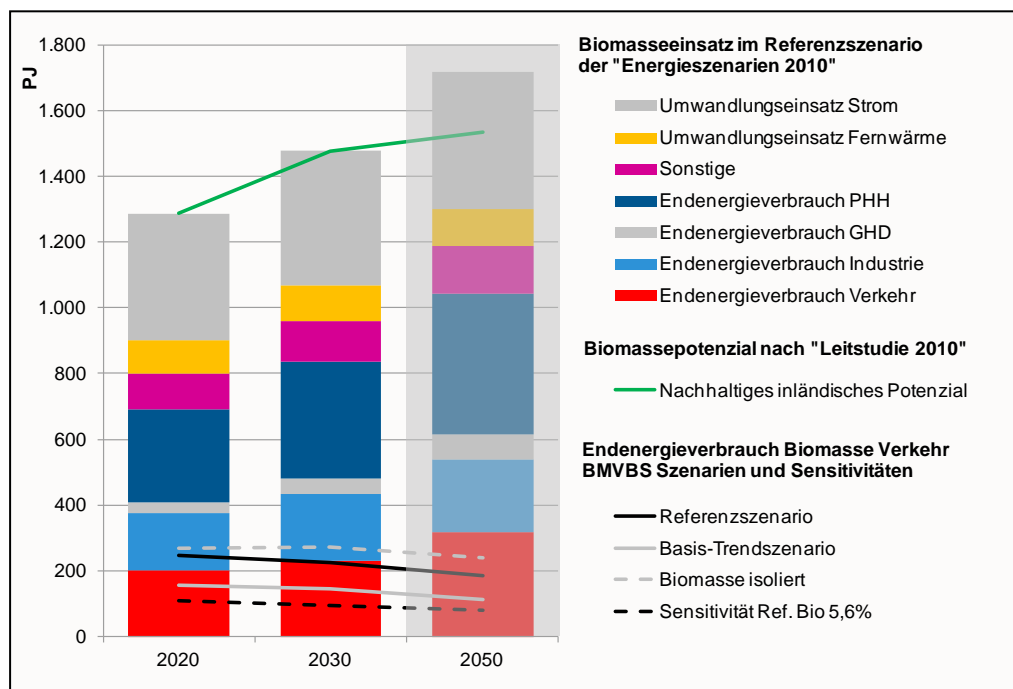
#### 8.2.4.5 Einsatz und nachhaltig verfügbares Potenzial von Biomasse

(1) Im Folgenden wird der Endenergieverbrauch an Biomasse im Verkehrssektor in den vorgestellten Szenarien und Sensitivitäten mit dem nachhaltig verfügbaren Potenzial verglichen. Der Großteil der Biomasse wird heute außerhalb des Verkehrssektors eingesetzt.

(2) Um einen Vergleich zwischen Potenzial und Endenergieverbrauch zu ermöglichen, wird der Biomasseeinsatz in den Endverbrauchssektoren Private Haushalte (PHH), Gewerbe / Handel / Dienstleistungen (GHD), Industrie und Verkehr sowie im Umwandlungssektor des Szenarios „Referenz“ der

Energieszenarien 2010 für ein energiepolitisches Konzept der Bundesregierung [30] betrachtet. In Abbildung 22 wird dieser Biomasseeinsatz durch Säulen dargestellt. Der Verkehr hat nur einen geringen Anteil - deutlich größere Mengen an Biomasse werden in Privaten Haushalten und zur Stromerzeugung eingesetzt. Allerdings führt die im Referenzszenario der Energieszenarien 2010 auf 24 % steigende Beimischungsquote trotz insgesamt sinkenden Endenergieverbrauchs im Verkehr zu einem steigenden Bedarf an Biomasse.

Abbildung 22: Biomasseeinsatz im Referenzszenario der Energieszenarien 2010 [30] - Gegenüberstellung mit dem Verbrauch an Biomasse im Verkehrssektor für die hier betrachteten Szenarien und Sensitivitäten sowie dem nachhaltigen Potenzial nach der Leitstudie 2010 [83], in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz

(3) Das nachhaltig inländisch verfügbare Potenzial [83] an Biomasse ist als grüne Linie dargestellt, der Endenergieverbrauch von Biomasse im Verkehrssektor nach den im Rahmen dieser Studie vorgestellten Szenarien und Sensitivitäten in Form grauer und schwarzer Linien. Wegen des höheren Kraftstoffverbrauchs im Basis-Trendszenario ist dort auch der Einsatz von Biomasse höher als im Referenzszenario, sofern für beide dieselbe Beimischungsquote von 10% (Sensitivität Biomasse isoliert) angenommen wird.

(4) Aufgrund des im Verkehr insgesamt rückläufigen Kraftstoffverbrauchs verringert sich der Biomasseeinsatz in allen hier betrachteten Szenarien und Sensitivitäten langfristig (vgl. Tabelle 24).

*Tabelle 24: Biomasseeinsatz im Referenzszenario der Energieszenarien 2010 [30] - Gegenüberstellung mit dem Verbrauch an Biomasse im Verkehrssektor für die hier betrachteten Szenarien und Sensitivitäten sowie dem nachhaltigen Potenzial nach der Leitstudie 2010 [83], in PJ*

<b>Endenergieverbrauch Verkehr, in PJ</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Referenzszenario	246	226	187
Sensitivität Ref. Bio 5,6% ausgehend vom Referenzszenario	110	96	79
Basis-Trendszenario	155	146	114
Isolierte Wirkung Biomasse ausgehend von Basis-Trendszen.	270	272	239
<b>Endenergieverbrauch nach Sektor, EnSz 2010 Ref, in PJ</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Private Haushalte	285	354	429
GHD	31	47	77
Industrie	175	204	220
Verkehr	202	230	318
<b>Umwandlung und Sonstiges, EnSz 2010 Ref, in PJ</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Brennstoffeinsatz Stromerzeugung	386	411	419
Brennstoffeinsatz Fernwärme	100	108	110
Sonstiges	108	124	145
<b>BMVBS-Szenarien + Sonst. Bereiche EnSz2010, in PJ</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Referenzszenario	1.331	1.473	1.587
Sensitivität Ref. Bio 5,4% ausgehend vom Referenzszenario	1.194	1.343	1.479
Basis-Trendszenario	1.239	1.393	1.515
Isolierte Wirkung Biomasse ausgehend von Basis-Trendszen.	1.355	1.519	1.640
<b>Nachhaltig verfügbares Potenzial, Leitstudie 2010, in PJ</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Nachhaltig verfügbares Potenzial (inländisch)	1.287	1.475	1.535

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz

## 8.2.5 Einzelbetrachtung „Änderung der Lkw-Maut“

### 8.2.5.1 Konkretisierung und Operationalisierung

#### Politische Initiative:

- Änderung der Lkw-Maut (MautRuaÄndV)
  - In Kraft ab 01.01.2009
  - Verdopplung der Spreizung der Mautsätze in Abhängigkeit von der Schadstoffklasse

#### Operationalisierung:

- Der Modal Split für die Verkehrsleistungen im Güterverkehr wurde vom Referenzszenario übernommen.
- Die mittleren Beladungen im Straßengüterverkehr (Lkw-Verkehr) wurden vom Referenzszenario übernommen.
- Die spezifischen Verbräuche für den Lkw-Verkehr wurden vom Referenzszenario übernommen.

### 8.2.5.2 Ergebnisse

*Tabelle 25:* CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung der Änderung der Lkw-Maut, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	161,9	167,9	147,2	151,9	151,3	132,8
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Lkw-Maut isoliert	161,9	167,9	147,2	150,8	149,7	129,2
Abweichung von Basis-Trendszenario			2010	2020	2025	2050
Referenzszenario			-1%	-12%	-16%	-26%
Lkw-Maut isoliert			0%	-1%	-1%	-3%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario		+4%	-9%	-6%	-7%	-18%
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
Lkw-Maut isoliert		+4%	-9%	-7%	-8%	-20%
Veränderungsraten in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario		+0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
Lkw-Maut isoliert		+0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

Tabelle 26: *Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der isolierten Wirkung der Änderung der Lkw-Maut, Basis-Trendszenario und Referenzszenario, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Basis-Trendszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsraten in % p.a.*

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario	2.379	2.616	2.586	2.583	2.773	2.812	2.538
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
Lkw-Maut isoliert	2.379	2.616	2.586	2.583	2.755	2.789	2.483
Abweichung von Basis-Trendszenario				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1%	-7%	-11%	-19%
Lkw-Maut isoliert				0%	-1%	-1%	-2%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Basis-Trendszenario				-0%	+7%	+9%	-2%
Referenzszenario				-1%	-1%	-3%	-20%
Lkw-Maut isoliert				-0%	+7%	+8%	-4%
Veränderungsraten in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Basis-Trendszenario			+0,6	+0,4	-0,4	-0,0	+0,1
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
Lkw-Maut isoliert			+0,6	+0,4	-0,5	-0,1	+0,1

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz  
(Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

### 8.3 Zusätzliche Einzelwirkungen ausgewählter ab 2010 beschlossener politischer Initiativen

In gleicher Weise wie bei den zuvor dargestellten ausgewählten politischen Initiativen und Instrumenten, die bis Ende 2009 beschlossen wurden, erfolgte für ausgewählte politische Initiativen und Instrumente, die seither beschlossen worden sind, ebenfalls eine Wirkungsanalyse. Da diese Instrumente und Maßnahmen nicht im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung stehen, erfolgt die Dokumentation der entsprechenden Grundlagen und Ergebnisse in der nachfolgenden Box.

#### **Zusätzliche Einzelwirkungen ausgewählter ab 2010 beschlossener politischer Initiativen**

(1) *Nachfolgend werden – ausgehend vom Referenzszenario – vier Szenarien beschrieben, in denen die Wirkungen politischer Initiativen, die nach dem 31.12.2009 beschlossen wurden (im Folgenden „zusätzliche politische Initiativen“), auf Endenergieverbrauch*

gieverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht werden:

- Änderung der Regelungen bezüglich der CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw auf EU-Ebene
- EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte für leichte Nutzfahrzeuge
- Regierungsprogramm Elektromobilität
- Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung

(2) Die vier betrachteten politischen Initiativen werden konkretisiert und die jeweilige Operationalisierung sowie die Szenarienergebnisse beschrieben.

(3) Bei der Erstellung der Szenarien zu den isolierten Wirkungen zusätzlicher politischer Initiativen wurde wie folgt vorgegangen:

- Zunächst wurden die verkehrlichen und energetischen Parameter identifiziert, die primär durch die betrachtete politische Initiative beeinflusst werden.
- Anschließend wurden ausgehend vom Referenzszenario die jeweils relevanten Modellparameter entsprechend der Zielsetzungen der zusätzlichen politischen Initiativen variiert.

(4) Bei der Interpretation der Szenarienergebnisse ist Folgendes zu beachten:

- Die Minderungswirkungen der einzelnen politischen Initiativen können wegen bestehender Überschneidungen nicht addiert werden.
- Die Ergebnisse der Berechnungen können nur bei Kenntnis der jeweils gewählten Operationalisierung richtig interpretiert werden.

## **1 Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw nach 2020**

### **1.1 Konkretisierung und Operationalisierung**

*Politische Initiativen:*

- Annahme einer weiteren kontinuierlichen Verschärfung der Zielwerte zwischen 2020 und 2050.
- Zielwerte werden weiter so abgesenkt, dass 2050 die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Neufahrzeugen unter 45 g/km liegen. Im Referenzszenario, in dem der Zielwert von 95 g CO<sub>2</sub>/km nach 2020 nicht weiter verschärft wird, sinken die spezifischen Emissionen bis 2050 auf unter 75 g CO<sub>2</sub>/km.

*Operationalisierung:*

- Anpassung der Antriebsstruktur und der spezifischen Verbräuche der Neufahrzeuge so, dass die spezifischen Emissionen zwischen 2020 und 2050 trendmäßig weiter sinken.

### **1.2 Ergebnisse**

Der Minderverbrauch und die Minderung an CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Umsetzung wachsen bis 2050 auf 14 % (vgl. Tabelle Z 1). Nach 2020 können durch die weitere kontinuierliche Verschärfung der Zielwerte wesentliche CO<sub>2</sub>-Minderungen bei den

*Pkw erreicht werden. Nach 2025 nimmt die Minderungswirkung ab, da Elektro-Pkw einen zunehmenden Anteil des Bestands ausmachen, bei welchen durch die Maßnahme kein Anreiz zu Verbrauchssenkungen geschaffen wird (keine Einbeziehung von indirekten Emissionen). Zusätzlich wird die Wirkung bezüglich des gesamten Verkehrs durch steigende Biokraftstoffquoten abgeschwächt.*

**Tabelle Z 1:** CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung der Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw nach 2020, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsrate in % p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020	161,9	167,9	146,4	133,8	125,3	84,1
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020			0%	0%	-1%	-14%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020		+4%	-10%	-17%	-23%	-48%
Veränderungsrate in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020		+0,3	-1,4	-1,6	-1,5	-1,4

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

**Tabelle Z 2:** Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung der Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw nach 2020, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsrate in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.486	1.879
Abweichung von Referenzszenario				2010	2020	2025	2050
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020				0,0%	0,0%	-0,8%	-8,9%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1%	-1%	-3%	-20%
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020				-1%	-1%	-4%	-27%
Veränderungsrate in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
CO <sub>2</sub> -Zielw. Pkw Versch. nach 2020			+0,6	-0,2	-1,1	-0,7	-0,4

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz  
(Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

## 2 EU-Verordnung CO<sub>2</sub>-Zielwerte für leichte Nutzfahrzeuge

### 2.1 Konkretisierung und Operationalisierung

Politische Initiativen:

- Verordnung (EU) Nr. 510/2011
  - in Kraft seit 3. Juni 2011
    - Festlegung des CO<sub>2</sub>-Zielwertes für den Flottendurchschnitt leichter Nutzfahrzeuge (LNF) auf
      - 175 g CO<sub>2</sub> / km (stufenweise Einführung 2014 - 2018)
      - 147 g CO<sub>2</sub> / km ab 2020
    - Ausnahmeregelungen:
      - für Hersteller mit Neuzulassungen von weniger als 22.000 Fahrzeugen p.a.
      - bei Einsatz innovativer Technologien: Erhöhung des Zielwertes um max. 7 g CO<sub>2</sub> / km
- Definition der Leichten Nutzfahrzeuge (LNF)
  - zulässiges Gesamtgewicht < 3,5 t;
  - konstruiert und gebaut für den Transport von Gütern.

Operationalisierung:

- Es wird ein Szenario für Zulassungsstruktur und spezifische Verbräuche der LNF in Übereinstimmung mit den Zielvorgaben definiert. Darin sind gegenüber der Referenz die Zulassungsanteile von Hybrid-, Elektro- und Erdgasfahrzeugen deutlich erhöht.
- Die Ermittlung von Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des LNF-Bestandes erfolgt mit einem Kohortenmodell.
- Nach 2020 werden die Zielwerte nicht weiter verschärft.

### 2.2 Ergebnisse

(1) In der Gesamtbilanz des Verkehrssektors fällt die mit der Umsetzung der politischen Initiative verbundene Absenkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch gegenüber dem Referenzszenario klein aus (vgl. Tabellen Z 3 und Z 4). Denn die Leichten Nutzfahrzeuge machten 2009 mit 1,8 Mio. Fahrzeugen nur einen relativ kleinen Teil der Fahrzeuge im Güterverkehr aus und verursachten mit rund 10 Mio. t weniger als 7 % der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Einführung der CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Leichte Nutzfahrzeuge verringert die Emissionen und den Endenergieverbrauch der Leichten Nutzfahrzeuge gegenüber den entsprechenden Emissionen und dem Endenergieverbrauch im Referenzszenario im Jahr 2020 um jeweils rund 15 % und im Jahr 2050 um jeweils rund 40%. Um die vorgegebenen Zielwerte zu erreichen, ist bei den Leichten Nutzfahrzeugen ein deutlich höherer Anteil an Hybrid-, Erdgas- und Elektroantrieben erforderlich als in der Referenz.



**Tabelle Z 3:** CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung der Einführung von CO<sub>2</sub>-Zielwerten für LNF, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsrate in % p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020	161,9	167,9	146,2	132,5	124,6	96,2
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020			0%	-1%	-2%	-2%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020		+4%	-10%	-18%	-23%	-41%
Veränderungsrate in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020		+0,3	-1,4	-1,0	-1,2	-1,1

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

**Tabelle Z 4:** Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung der Einführung der CO<sub>2</sub>-Zielwerte für LNF, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsrate in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020	2.379	2.616	2.586	2.559	2.548	2.479	2.039
Abweichung von Referenzszenario				2010	2020	2025	2050
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020				-0,1%	-0,7%	-1,1%	-1,1%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1%	-1%	-3%	-20%
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020				-1%	-1%	-4%	-21%
Veränderungsrate in % p.a.			1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050
Referenzszenario			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2
CO <sub>2</sub> -Zielw. LNF Versch. bis 2020			+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,3

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz  
(Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

### **3      *Regierungsprogramm Elektromobilität***

#### **3.1    *Konkretisierung und Operationalisierung***

*Politische Initiativen:*

- *Energiekonzept der Bundesregierung (28. September 2010)*
  - *Anhebung des Zielbestands an Elektrofahrzeugen für 2030 auf 6 Millionen Fahrzeuge (NEPE: 5 Mio.)*
- *Regierungsprogramm Elektromobilität (18. Mai 2011)*
  - *Bestätigung des Zielbestands von 6 Mio. Elektrofahrzeugen im Jahr 2030 (NEPE: 5 Mio.)*
  - *Maßnahmen für die Zielerreichung*

*Operationalisierung:*

- *Anhebung des Anteils von Elektro-Pkw (inkl. Plug-In-Hybride) an den Neuzulassungen, so dass 2030 das Bestandsziel von 6 Millionen Fahrzeugen erreicht wird.*
- *Anhebung des Anteils von Elektro-Pkw (inkl. Plug-In-Hybride) an den Neuzulassungen zwischen 2030 und 2050, so dass der Bestand an Elektrofahrzeugen in diesem Zeitraum durchgehend um eine Mio. höher liegt als im Referenzszenario.*
- *Entsprechende Absenkung der Zulassungen von Pkw mit konventionellen Antrieben (Diesel, Benzin).*
- *Gegenüber der Referenz keine Veränderung von*
  - *durchschnittlichen Jahresfahrleistungen;*
  - *elektrischen Fahrleistungsanteilen von Plug-In-Hybriden;*
  - *spezifischen Verbräuchen.*

#### **3.2    *Ergebnisse***

*(1) Durch die nur geringen Veränderungen von Zulassungsstruktur ab 2011 und Zielbestand der Elektro-Pkw ab 2030 weichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch des Verkehrssektors nur geringfügig vom Referenzszenario ab (vgl. Tabellen Z 5 und Z 6).*

**Tabelle Z 5:** CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung des Regierungsprogramms Elektromobilität, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen vom Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 1990 in % sowie Veränderungsrate in %p.a.

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Regierungsprogramm Emobilität	161,9	167,9	146,4	133,3	125,6	96,9
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
Regierungsprogramm Emobilität			0%	0%	-1%	-1%
Veränderung ggü. 1990		2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario		+4%	-10%	-17%	-22%	-40%
Regierungsprogramm Emobilität		+4%	-10%	-18%	-22%	-40%
Veränderungsrate in % p.a.		1990-2004	2004-2025	2025-2050	2004-2050	1990-2050
Referenzszenario		+0,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,1
Regierungsprogramm Emobilität		+0,3	-1,4	-1,0	-1,2	-1,1

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

**Tabelle Z 6:** Endenergieverbrauch des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung des Regierungsprogramms Elektromobilität, 1990-2050, Absolutwerte in PJ, Abweichungen vom Referenzszenario und Veränderungen gegenüber 2005 in % sowie Veränderungsrate in %p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	2.379	2.616	2.586	2.561	2.566	2.507	2.061
Regierungsprogramm Emobilität	2.379	2.616	2.586	2.561	2.560	2.496	2.052
Abweichung von Referenzszenario				2010	2020	2025	2050
Regierungsprogramm Emobilität				0,0%	-0,2%	-0,4%	-0,5%
Veränderung ggü. 2005				2010	2020	2025	2050
Referenzszenario				-1,0%	-0,8%	-3,1%	-20,3%
Regierungsprogramm Emobilität				-1,0%	-1,0%	-3,5%	-20,7%
Veränderungsrate in % p.a.		1990-2005	2005-2025	2025-2050	2005-2050	1990-2050	
Referenzszenario		+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2	
Regierungsprogramm Emobilität		+0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,2	

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz  
(Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

#### **4 Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung**

##### **4.1 Konkretisierung und Operationalisierung**

*Politische Initiativen:*

- *Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV)*
  - *in Kraft seit 26. Juni 2010;*
  - *Übergangsregelung bis 1. Januar 2011;*
  - *Biokraftstoffe werden nur als solche anerkannt, wenn folgende CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber fossilen Kraftstoffen erreicht wird:*
    - *ab 1. Januar 2011: 35 %;*
    - *ab 1. Januar 2017: 50 %;*
    - *ab 1. Januar 2018: 60 % (gilt nur für neue Produktions-Anlagen, die nach 2016 in Betrieb gegangen sind).*

*Operationalisierung:*

- *Einführung eines CO<sub>2</sub>-Faktors für Biokraftstoffe gemäß der Mindestanforderung gemäß Biokraft-NachV (im Referenzszenario gelten Biokraftstoffe als klimaneutral, d.h. der CO<sub>2</sub>-Faktor ist gleich Null).*
- *In der "Sensitivität zur Biokraft-NachV - weitere Absenkung der spezifischen Emissionen" werden diejenigen Emissionen berechnet, die sich ergeben, wenn der Emissionsfaktor zwischen 2018 und 2050 auf 0 g CO<sub>2</sub> / MJ abgesenkt wird.*
- *Die kalorischen Beimischungsquoten liegen entsprechend dem Referenzszenario ab 2011 durchgehend auf 10% (inkl. Luftfahrt).*

##### **4.2 Ergebnisse**

*(1) Tabelle Z 7 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Biokraftstoffe im Unterschied zur Sensitivität zum Referenzszenario „Konstante Beimischungsquote von 10%“ zum Referenzszenario (inkl. Luftfahrt) mit einem Emissionsfaktor bewertet werden, welcher die Vorketten zur Bereitstellung einschließt und die Mindestanforderungen des Treibhausgas-Minderungspotenzials erfüllt. Da bei den fossilen Kraftstoffen und den zur Stromerzeugung eingesetzten Brennstoffen die jeweiligen Vorketten nicht berücksichtigt werden, werden die geforderten Minderungen der Biokraftstoffe auf die fossilen Kraftstoffe ohne Vorketten bezogen.*

**Tabelle Z 7:** CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung der Biokraft-NachV, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen gegenüber Referenzszenario in %

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Biokraft-NachV	161,9	167,9	155,6	141,0	133,7	103,4
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
Biokraft-NachV			+6%	+5%	+6%	+6%

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

(2) Tabelle Z 8 zeigt die Emissionen für die „Sensitivität zur Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung - weitere Absenkung der spezifischen Emissionen“, in welcher der spezifische Emissionsfaktor zwischen 2018 und 2050 linear auf 0 g CO<sub>2</sub> / MJ abgesenkt wird.

**Tabelle Z 8:** CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors: Szenario der zusätzlichen isolierten Wirkung der Biokraft-NachV mit weiterer Absenkung der Emissionsfaktoren nach 2018, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Abweichungen gegenüber Referenzszenario in %

Absolutwerte in Mio. t	1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
Referenzszenario	161,9	167,9	146,4	133,8	126,6	97,9
Biokraft-NachV 0-Emission bis 2050	161,9	167,9	155,6	141,0	132,5	97,9
Abweichung von Referenzszenario			2010	2020	2025	2050
Biokraft-NachV 0-Emission bis 2050			+6%	+5%	+5%	+0%

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll  
(Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

## 8.4 Qualitativer Vergleich der Instrumentenwirkung

(1) Um einen qualitativen Vergleich der wichtigsten politischen Initiativen bzw. Instrumente hinsichtlich ihrer CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkungen für die drei Verkehrszweige MIV, Straßengüterverkehr und Luft(verkehr) zu ermöglichen, wurde ein Diagramm zu den Wirkungszusammenhängen auf Instrumenten-, Maßnahmen und Verkehrszweigebene entwickelt (vgl. Abbildung 23). Auf der linken Seite sind die 15 politischen Initiativen bzw. Instrumente aufgelistet. Auf der rechten Seite findet sich zu den Umsetzungsmaßnahmen, die für die Wirkungen in den drei Verkehrszweigen vor allem ausschlaggebend sind, die Auswahl der wichtigsten sie auslösenden politischen Instrumente. Auf diese Weise wird eine Zuordnung zwischen politischen Initiativen und CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkungen hergestellt, ohne dass aber letztlich die Einzelbeiträge – weder auf der Instrumenten- noch auf der Maßnahmenebene – einzeln quantifizierbar wären.

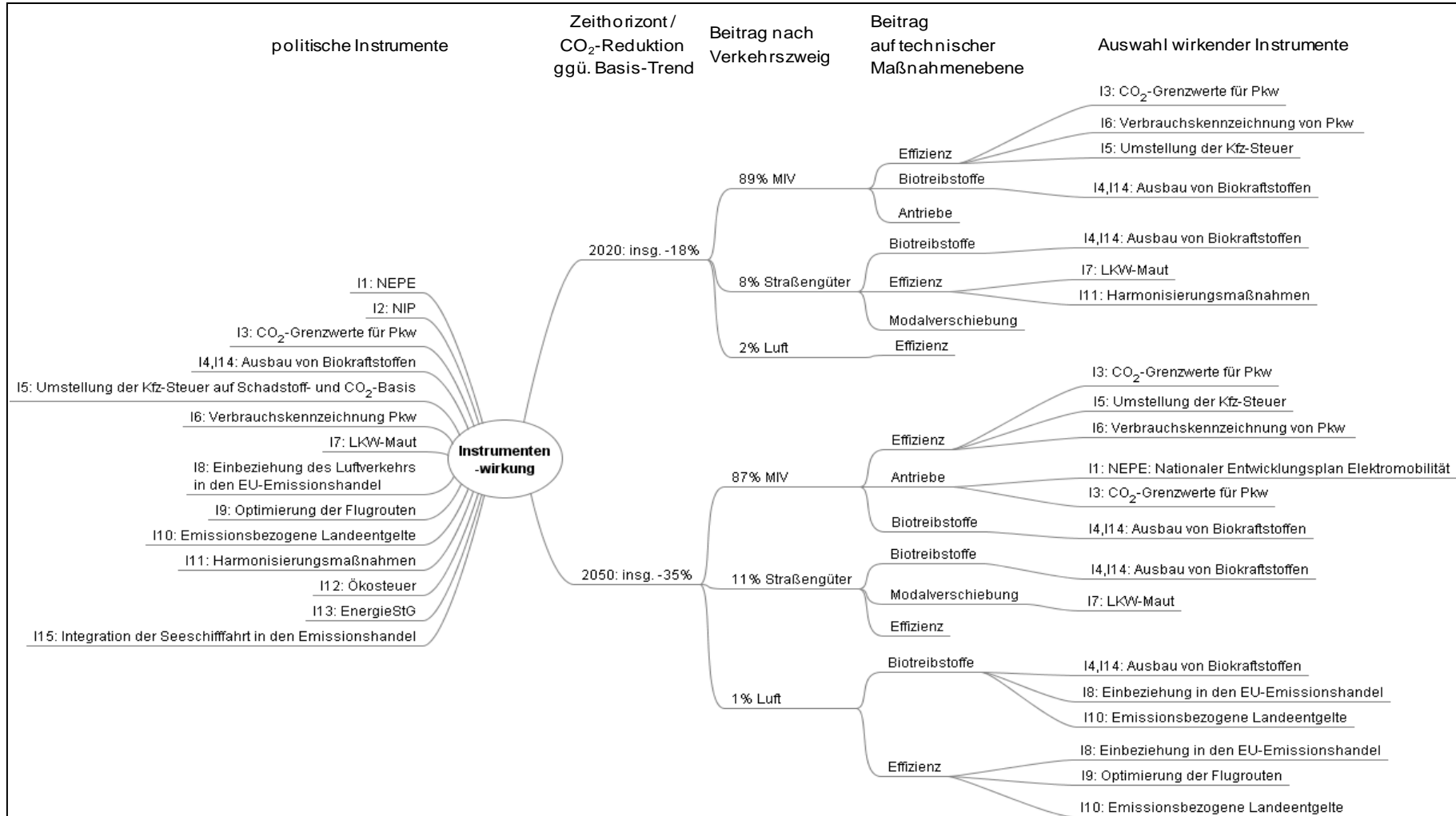
(2) Bei der Analyse der Instrumente muss zwischen mittelfristiger und langfristiger Wirkung unterschieden werden. Die untersuchten Instrumente erzeugen nämlich bis 2050 deutlich höhere Emissionsminderungen (-35 % gegenüber Basis-Trend) als bis 2020 (-18% gegenüber Basis-Trend).

(3) Die Zuordnung der politischen Instrumente erfolgte für die beiden Wirkungshorizonte getrennt entsprechend desjenigen Beitrags zur CO<sub>2</sub>-Minderung, den die durch die jeweiligen Instrumente adressierten Maßnahmen erbringen. Dafür wurde wie folgt vorgegangen:

1. Quantitative Zuordnung der Minderungsbeiträge der einzelnen Verkehrszweige für beide Szenarienhorizonte (2020, 2050);
2. Qualitative Zuordnung, welche technische Maßnahmen wichtige Beiträge leisten anhand isolierter Variationen mittels des Modells;
3. Qualitative Zuordnung, welche Instrumente die technischen Maßnahmen wesentlich beeinflusst.

(4) Ein Großteil der CO<sub>2</sub>-Minderungen (rund 89 % in 2020) wird im Motorisierten Individualverkehr erreicht, der den höchsten Energieverbrauchsanteil am Gesamtverkehr aufweist. Mittelfristig wirken insbesondere solche Instrumente, die die Effizienz der konventionellen Antriebe beeinflussen: CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Neufahrzeuge (I 3), Verbrauchskennzeichnung von Pkw (I 6), Umstellung der Kfz-Steuer (I 5). Bei der Einschätzung der Wirkung muss berücksichtigt werden, dass CO<sub>2</sub>-arme Neufahrzeuge mit einer Verzögerung

Abbildung 23: Politische Initiativen und Instrumente zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr in Deutschland, Zusammenhang mit der technischen Maßnahmenebene, Beiträge der einzelnen Verkehrszweige und Gesamtreduktion nach Zeithorizont



Quelle: eigene Darstellung

die Emissionen des Bestands verändern, da jährlich nur ca. 7 % der Fahrzeuge ausgetauscht werden.

(5) Längerfristig werden weitergehende Absenkungen von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Motorisierten Individualverkehr durch Änderungen in der Antriebsstruktur erreicht. Dabei spielt auch der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität (I 1) eine Rolle. Hauptmotor einer sich verändernden Antriebsstruktur ist nach unserer Einschätzung aber die Vorgabe von CO<sub>2</sub>-Zielwerten (I 3), wobei sich deren Wirkung nicht isolieren lässt. Mit den untersuchten Instrumenten werden die in der Veränderung der Antriebsstruktur liegenden Potenziale zur Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen mittelfristig nur zu einem geringen Teil ausgeschöpft.

(6) Die Instrumente zur Steigerung des Einsatzes von Biokraftstoffen (I 4, I 14) spielen in allen Verkehrszweigen eine Rolle und sind insbesondere im Straßengüterverkehr und im Luftverkehr von Bedeutung. Diese Bereiche stellen bedeutende Emittenten innerhalb des Verkehrs dar. Eine Elektrifizierung bietet wegen der hohen geforderten Energiedichten aus heutiger Sicht keine Option zur Verringerung der Emissionen.

(7) Berücksichtigt man die Emissionen des gesamten Luftverkehrs einschließlich der internationalen Flüge und der Seeschifffahrt, machten diese zusammen 2010 20% der Emissionen aus. Im Referenzszenario wächst dieser Anteil bis 2050 auf 30%. Potenziell sind für die Minderung in diesen Verkehrszweigen die Optimierung der Verbräuche und der Einsatz von Biotreibstoffen entscheidend. Im Luftverkehr ist die Einbeziehung in den Emissionshandel (I 8) zentral. Zusätzlich wirken die emissionsabhängigen Landeentgelte (I 10) auf Verbrauch und Biotreibstoffanteil sowie die Optimierung der Flugrouten (I 9) auf den Verbrauch. Im Rahmen der Studie wurde keine Wirkungsanalyse für den Seeverkehr durchgeführt.

(8) Bei den Pkw stellt der Einsatz von Flüssiggas- und insbesondere Erdgasfahrzeugen mittelfristig ein relevantes Potenzial für Emissionsreduktionen dar (vgl. [66]). Ihre Einführung ist durch die Sonderstellung im Energiesteuergesetz möglich (I 13), allerdings wird im Referenzszenario nur von einem geringen Anteil von gasbetriebenen Pkw an der gesamten Pkw-Flotte ausgegangen.

(9) Im Straßengüterverkehr werden durch die Innovationsmaßnahmen (I 11) und die Umstellung der Lkw-Maut (I 7) nur in geringem Maße zusätzliche Effizienzsteigerungen erzielt, da im Straßengüterverkehr der Kraftstoff ein wesentlicher Kostenfaktor ist und die Fahrzeuge auch ohne Instrumentenwirkung weitgehend verbrauchsoptimiert sind. Die Lkw-Maut führt zu klei-



nen modalen Verschiebungen von der Straße zur Schiene, welche einen weiteren wichtigen Ansatzpunkt zur Emissionsminderung im Güterverkehr darstellen.

## 9 Kosten und Nutzen sowie Sekundäreffekte der Instrumente

### 9.1 Kosten und Nutzen

(1) Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden vereinbarungsgemäß keine eigenen Berechnungen zu den gesamtwirtschaftlichen Kosten der untersuchten Instrumente, Initiativen oder Maßnahmen durchgeführt, sondern die Ergebnisse der Auswertung relevanter Quellen herangezogen.

(2) Relevante Quellen, die sich mit der Kostenbetrachtung zu den bis zum 31.12.2009 ergriffenen politische Initiativen auseinander setzen, sind insbesondere die beiden folgenden Untersuchungen:

[35] BSR-Sustainability GmbH, European Climate Forum (ECF), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Öko-Zentrum NRW GmbH, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Potsdam 2008

[54] Fraunhofer-Institut System- und Innovationsforschung (ISI), Öko-Institut e.V., Forschungszentrum Jülich, ETH Zürich, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE): Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes. Ufoplan-Vorhaben 205 46 434. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Karlsruhe/Berlin/Jülich/Zürich 2008.

Die Studien untersuchen Kosten der sektorenspezifischen Instrumente sowohl auf makro- als auch auf mikro-ökonomischer Ebene und umfassen unterschiedliche Zeithorizonte. Diese gehen jedoch nicht über das Jahr 2030 hinaus.

(3) Die Studie zu den „Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland“ im Auftrag des BMU ([35], nachfolgend BMU-Studie genannt) liefert eine mikroökonomische Bewertung und makroökonomische Betrachtung der politischen Initiativen zwischen 2008 und 2030 und weist dabei den Wert für 2020 aus. Die Bewertung umfasst alle treibhausgasmindernden IEKP-Maßnahmen im Verkehrsbereich. Die relevanten Bewertungsgrößen sind in Tabelle 27 zusammengefasst.

Tabelle 27: *Bewertungsgrößen der politischen Initiativen bzw. Instrumente gemäß BMU-Studie [35]*

Größe	Dimension	Definition
Differenzinvestitionen	Mrd. EUR/a	Differenz zwischen der Investition für die Initiative und eventuellen vermiedenen Investitionen in Mrd. €/a in Preisen von 2006
Jährliche Kosten	Mrd. EUR/a	Differenz zwischen sonstigen jährlichen Auszahlungen und jährlichen Einzahlungen. Negative jährliche Kosten bedeuten, dass die Initiative Einnahmen erzielt (i.a. handelt es sich um eingesparte Energiekosten in Mrd. €/a)
Spezifische Vermeidungskosten	EUR/t CO <sub>2eq</sub>	Der Betrag der jährlich anfallenden Kosten der Initiative dividiert durch die in dem gleichen Jahr vermiedenen Treibhausgasemissionen (in €/t CO <sub>2eq</sub> ). Wenn dieser Wert negativ ist, dann handelt es sich um ein profitables Instrument
Barwert der Initiative 2008-2030	Mrd. EUR	Alle Zahlungen oder Kapitalwert einer Initiative
Abdiskontierte spezifische Vermeidungskosten	EUR/t CO <sub>2eq</sub>	Wird durch den Barwert der Initiative gebildet

Quelle: [35]

(4) Die Ergebnisse für die unterschiedlichen Zeithorizonte werden zu Gegenwartswerten abdiskontiert, sodass sowohl ein Gegenwartswert als auch eine Schätzung für initiativen- bzw. instrumentenspezifische Vermeidungskosten dargestellt sind (vgl. [35], S. 7). Die Bewertung erfolgte in einem speziell für das Projekt entwickelten Berechnungs-Tool – gemäß Bericht eine „lose Koppelung“ von prozessorientierten Bottom-up-Modellen und einem gesamtwirtschaftlichen Modell (vgl. [35], S. 9). Beim Input wurden durch politische Initiativen induzierte und vermiedene Investitionen, die typischen Re-Investitionszyklen sowie alle jährlichen Betriebs- sowie Energiekosten berücksichtigt (vgl. [35], S. 15).

(5) Die im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellte Studie „Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes“ ([54], nachfolgend UBA-Studie genannt) untersucht ökonomische Wirkungen der Meseberg-Maßnahmen und quantifiziert diese Wirkungen aus einer Gesamtkostenperspektive. Die zentralen Aspekte bzw. Größen der Bewertung sind in Tabelle 28 zusammengefasst.

(6) Im Unterschied zur BMU-Studie betrachtet und bewertet die UBA-Studie nur drei bis zum 31.12.2009 beschlossenen politische Initiativen: I 3 - CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw (IEKP-Maßnahme 16), I 4 - Ausbau von Biokraftstoffen (IEKP-Maßnahme 17) und I 7 - verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20). Ihr methodischer Ansatz basiert auf einem Kohortenmodell. Die Ergebnisse werden aus zwei verschiedenen Perspektiven darge-

stellt: eine Zeitpunktbetrachtung für das Jahr 2020 und eine Zeitrumbetrachtung von 2008 bis 2020 (vgl. [54], S. 6).

*Tabelle 28: Zentrale Bewertungsgrößen für wirtschaftlichen Nutzen gemäß UBA-Studie [54]*

Größe	Dimension	Definition
Kapitalwert Bilanzraum 2008-2020	Mrd. EUR <sub>2000</sub>	Der Kapitalwert diskontiert die im Zeitverlauf anfallenden Zahlungsströme einer Investition auf einen Zeitpunkt und ermöglicht so den Vergleich verschiedener Investitionen zur Emissionsminderung. Er gibt somit Antwort auf die Frage, ob eine Investition zu einem Gewinn oder zu einem Verlust führt. Negative Kapitalwerte von Initiativen bedeuten eine finanzielle Belastung der Nutzer/Investoren durch die Initiative. Positive Kapitalwerte zeigen den ökonomischen Gewinn für die Nutzer/Investoren bei gleichzeitiger Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen.
Spezifischer Kapitalwert Bilanzraum 2008-2020	EUR <sub>2000</sub> /t CO <sub>2</sub>	Kapitalwert je eingesparte Tonne CO <sub>2</sub>
Minderungskosten Euro/t CO <sub>2</sub> im Jahr 2020	EUR <sub>2000</sub> /t CO <sub>2</sub>	Nettokosten einer Initiative in einem gegebenen Jahr pro vermiedene Tonne CO <sub>2</sub> . Hier wird mit realen Preisen gerechnet, jedoch nicht diskontiert.

Quelle: [54]

(7) Die Festlegung der künftigen Energiepreise spielt in beiden Studien eine zentrale Rolle und ist in beiden Modellen bis 2030 identisch (vgl. [35], S. 12 ff; [54], S. 8).

(8) Die in den beiden Studien ermittelten Kosten der Initiativen sind in Tabelle 29 (UBA-Studie) und in Tabelle 30 (BMU-Studie) zusammengefasst.

*Tabelle 29: Kosten der politischen Initiativen gemäß UBA-Studie [54]*

Nr	politische Initiative	Kapitalwert Bilanzraum 2008-2020 [Mrd. EUR <sub>2000</sub> ]	Spezifischer Kapitalwert Bilanzraum 2008-2020 [EUR <sub>2000</sub> /t CO <sub>2</sub> ]	Minderungskosten Euro/t CO <sub>2</sub> im Jahr 2020 [EUR <sub>2000</sub> /t CO <sub>2</sub> ]
13	CO <sub>2</sub> -Strategie Pkw (IEKP-Maßnahme 16)	16	100	-128
14	Ausbau von Biokraftstoffen (IEKP-Maßnahme 17)	-7,3 bis -8,4	- 86 bis -100	89,9 bis 179,9
17	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20)	0,04	71	-275

Quelle [54]

Tabelle 30: Kosten der politischen Initiativen gemäß BMU-Studie [35]

Nr	politische Initiative	Differenzinvestitionen 2020			Jährliche Kosten			Spezifische Vermeidungskosten		Barwert der Initiative	Abdiskontierte spezifische Vermeidungskosten
		[Mrd. EUR/a]			[Mrd. EUR/a]			[EUR/t CO <sub>2eq</sub> ]		[Mrd. EUR]	[EUR/t CO <sub>2eq</sub> ]
		2020	2030	kumuliert 2008-2030	2020	2030	kumuliert 2008-2030	2020	2030	2008-2030	2008-2030
I 1	Elektromobilität (als Kopa II sowie IEKP-Maßnahme 26)	2,2	3,0	58	-0,8	-2,3	-20	410	220	-18	182
I 3	CO <sub>2</sub> -Strategie Pkw (IEKP-Maßnahme 16)	6,6	3,9	110	-8,7	-8,9	-160	-130	-150	31	-100
I 4	Ausbau von Biokraftstoffen (IEKP-Maßnahme 17)	0,15	0,13	2,0	0,7	1,0	12	170	170	-5,6	70
I 5	Umstellung der Kfz-Steuer auf Schadstoff- und CO <sub>2</sub> -Basis (IEKP-Maßnahme 18)	0,0	0,0	0,0	-1,4	-1,2	-29	-470	-530	18	-300
I 6	Verbrauchskennzeichnung Pkw (IEKP-Maßnahme 19)	0,0	0,0	0,0	-1,6	-1,4	-30	-450	-500	18	-280
I 7	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20)	0,04	0,05	0,85	0,0	0,0	-0,01	78	52	-0,52	45
I 8/I 9	Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel (IEKP-Maßnahme 21.1) und Single European Sky (IEKP-Maßnahme 21.2)	0,23	0,09	3,7	-0,3	-0,6	-6,5	-95	-124	1,9	-50
I 15	Einbeziehung der Seeschifffahrt in den Emissionshandel (IEKP-Maßnahme 22.1) und SkySail	0,05	0,05	0,9	-0,2	-0,5	-4,8	-390	-390	2,0	-200

Quelle: [35]

(9) Für die drei Instrumente I 3, I 4 und I 7 wurden die Ergebnisse für die per Definition vergleichbaren Ergebnisgrößen aus beiden Studien in Tabelle 31 einander gegenübergestellt. In erster Linie zeigt sich, dass sich in beiden Studien die CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw als ökonomisch und ökologisch effektivstes Instrument erweist. Die Höhe der Vermeidungskosten reduziert sich im Zeitverlauf. Die Bruttokosten (Kosten ohne Einsparungen) stimmen in beiden Studien überein. Die jährlich eingesparten Energiekosten sind in der UBA-Studie und in der BMU-Studie ebenfalls gleich; deren negativer Wert deutet auf die Rentabilität des Instrumentes hin.

(10) Die Betrachtung der beiden anderen Instrumente (vgl. Tabelle 31) bestätigt die in der ausgewerteten Literatur herrschende Meinung, dass der Ausbau der Biokraftstoffe – insb. Biokraftstoffe der 2. Generation – noch mit erheblichen Investitionen verbunden ist, und die hohen Vermeidungskosten deuten auf eine relativ junge Technologie z.B. Biomass-to-Liquid hin (vgl. [35], S. 205). Die verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut ist im Vergleich mit den anderen Instrumenten nur wenig geeignet, die Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen.

(11) Ein weiteres Ergebnis der ausgewerteten Studien ist, dass der Ausbau der Elektromobilität langfristig angelegt werden müsste, um zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant beitragen zu können. Die relevanten Unsicherheiten beruhen auf dem aktuellen Stand der Technik z.B. bei den Lithium-Ionen-Batterien.

(12) Insgesamt sind die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Bewertung aus den beiden Studien [35] und [54] als robust zu bezeichnen.

## 9.2 Sekundäreffekte

(1) Für alle Instrumente gilt außerdem, dass sich deren Nutzen als Beitrag zur Vermeidung weltweiter volkswirtschaftlicher Schäden durch Klimaänderung nicht ohne weiteres quantifizieren lässt. Dies liegt vor allem an der schwierigen Quantifizierung des monetären Nutzens der CO<sub>2</sub>-Minderung (vgl. [17], S. 72). Die meisten Studien empfehlen daher weitere empirisch fundierte Untersuchungen der volkswirtschaftlichen Wirkungen der Klimaschutzmaßnahmen (vgl. [54], S. 170).

Tabelle 31: Zusammenstellung der Kosten aus der BMU- [35] und UBA-Studie [54]<sup>12</sup>

Nr	politische Initiative	Quelle [35]	Quelle [54]	Quelle [35]	Quelle [54]	Quelle [35]	Quelle [54]	Quelle [35]	Quelle [54]
		Barwert der Initiative	Kapitalwert	Abdiskontierte spezifische Vermeidungskosten	Minderungskosten Euro/t CO <sub>2</sub> im Jahr 2020	Differenzinvestitionen	Bruttokosten der Minderungs-option	Jährliche Kosten	Jährlich eingesparte (fossile) Energie
		[Mrd. EUR]	[Mrd. EUR <sub>2000</sub> ]	[EUR/t CO <sub>2eq</sub> ]	[EUR <sub>2000</sub> /t CO <sub>2</sub> ]	[Mrd. EUR/a]	[Mrd. EUR/a]	[Mrd. EUR/a]	[Mrd. EUR/a]
		2008-2030	2008-2020	2008-2030	2008-2020	2020	2020	2020	2020
I 3	CO <sub>2</sub> -Strategie Pkw (IEKP-Maßnahme 16)	31	16	-100	-128	6,6	6,45	-8,7	8,7
I 4	Ausbau von Biokraftstoffen (IEKP-Maßnahme 17)	-5,6	-7,3 bis -8,4	70	89,9 bis 179,9	0,15	0,00	0,7	-2,1
I 7	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20)	-0,52	0,04	45	-275	0,04	0,014	0,0	0,04

Quelle: [35]; [54]

<sup>12</sup> Die unterschiedliche Anzahl der Dezimalstellen ist ausschließlich auf die Darstellung in Quellen zurück zu führen ist

(2) Von den ausgewerteten Quellen beschäftigt sich nur die GWS-Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes [55] mit der Modellierung und Quantifizierung von Sekundäreffekten der Instrumente zur CO<sub>2</sub>-Minderung. Diese ergänzt bereits bekannte und hier zitierte Studien um zusätzliche gesamtwirtschaftliche Informationen (vgl. [55], S. 2). In die Modellierung zur Quantifizierung der Sekundäreffekte wurden dabei allerdings nur drei Instrumente einbezogen: I 5 - Umstellung der Kfz-Steuer auf Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Basis (IEKP-Maßnahme 18), I 7 - Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20) und I 8 - Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel (IEKP-Maßnahme 21.1). Die Modellierung erfolgt auf der Basis des Modells „PANTA RHEI“, das den Anspruch erhebt, den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen zu berücksichtigen ([55], S. 9).

(3) Die wesentlichen Ergebnisse der Modellierung sind in der Tabelle 32 zusammengestellt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass alle drei Instrumente positive Beschäftigungseffekte haben und in der Summe Wachstumsimpulse für das BIP geben können. Diese können zu Zweitrundeneffekten, wie z.B. Einkommenssteigerung und/oder Anstieg des Konsums, führen.

*Tabelle 32: Sekundäreffekte zu den ausgewählten politischen Initiativen im Vergleich zum Referenzszenario ohne Maßnahmen nach [55]*

Nr	politische Initiative	BIP in	Beschäftigung	Gesamtbewertung
		[Mrd. EUR <sub>1995</sub> ]	2020	2020
I 5	Umstellung der Kfz-Steuer auf Schadstoff- und CO <sub>2</sub> -Basis (IEKP-Maßnahme 18)	0	+14.000	"längerfristig mit keinen nennenswerten gesamtwirtschaftlichen Effekten verbunden"
I 7	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut (IEKP-Maßnahme 20)	+2,8	+30.800	"keine wesentliche gesamtwirtschaftliche Efekte"
I 8	Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel (IEKP-Maßnahme 21.1)	-0,2	+1.500	"Die Einbeziehung des Flugverkehrs in den Emissionshandel ist in dem Deutschlandmodell PANTA RHEI nur eingeschränkt abbildbar". Unter den getroffenen Annahmen wäre "der binnenwirtschaftliche Effekt sehr gering, wenn die Maßnahme weltweit umgesetzt wird".

Quelle: [55]

(4) Die Instrumente wirken in erster Linie über Investitionen in Energieeffizienz und neue Technologien. Die reduzierte Energienachfrage senkt die Energieausgaben und verringert die Abhängigkeit von Rohölimporten.



Dadurch entstehen weitere volkswirtschaftlich positive Impulse. Alleine im Verkehrssektor kann der Studie zufolge mit den IEKP-Instrumenten die Rechnung für Energieimporte um bis zu 5 Mrd. Euro in 2020 und um mehr als 10 Mrd. Euro in 2030 verringert werden (vgl. [35], S. 161).

(5) Der Staatshaushalt profitiert von der Umsetzung der Klimaschutz-Instrumente. Die getätigten Subventionen zur Implementierung werden trotz sinkender Einnahmen aus indirekten Steuern (Verminderung der Einnahmen z.B. aus der Mineralölsteuer infolge der verringerten Nachfrage) durch steigende Einnahmen bei den direkten Steuern, u.a. als Folge einer ausgeweiteten Beschäftigung, überkompensiert (vgl. [35], S. 165).

(6) Nach den Ergebnissen der Untersuchung geben die Instrumente und Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion Anreize zur Beschleunigung des technischen Fortschritts und zur Einführung neuer Technologien. Es werden Ausbildungs- und Arbeitsplätze gesichert oder entstehen neu, und die Wettbewerbsposition Deutschlands wird gestärkt. Davon profitiert die exportorientierte deutsche Wirtschaft insgesamt (vgl. [35], S.203).

## 9.3 Fragen der Akzeptanz

(1) In den zentralen Studien, welche die Grundlage für die Bewertung der einzel- und gesamtwirtschaftlichen Kosten der Instrumente bilden, wurden mögliche Akzeptanzprobleme bei der Implementierung der Instrumente nicht behandelt. Eine gezielte Recherche hat ergeben, dass es nur wenige wissenschaftliche Studien über die Akzeptanz der bis zum 31.12.2009 beschlossenen Instrumente gibt. Darüber hinaus sind nicht alle politischen Instrumente auf mögliche Akzeptanzprobleme hin untersucht worden. Im Folgenden werden daher tatsächliche und denkbare Akzeptanzprobleme bei der Umsetzung ausgewählter Instrumente, nämlich des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität (I 1), des Ausbaus der Biokraftstoffe (I 4), der verbesserten Lenkungswirkung der Lkw-Maut (I 7) sowie der Ökosteuer (I 12) dargestellt.

(2) Bei der Markteinführung und Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen (I 1) spielt die Nutzerakzeptanz eine sehr wichtige Rolle. Dabei geht es überwiegend um die Akzeptanz durch potenzielle Nutzer, da der Anteil der tatsächlichen Nutzer im Vergleich zu den Nutzern der Fahrzeuge mit konventionellen Antrieben noch sehr gering ist.

(3) Die Treiber und Hemmnisse der Marktdurchdringung lassen sich in vier Gruppen unterteilen (vgl. [76], S. 12):

- Rahmenbedingungen
- Stand der Technologieentwicklung und Fahrzeugeigenschaften
- Markt und Angebote
- Nutzerspezifische Aspekte

(4) Aus Sicht der Kundenakzeptanz erscheinen die hohen Batteriekosten sowie Befürchtungen hinsichtlich der Batterie-Reichweite und -Lebensdauer besonders kritisch. Eine weitere Barriere auf dem Weg zur Akzeptanz stellen Gewohnheiten und Routinen bei der Verkehrsmittelwahl und ein bisher begrenztes Wissen bei Konsumenten über Elektromobilität dar (vgl. [76], S. 30). Das konventionelle Fahrzeug dient immer noch als Messgröße bei der Kaufentscheidung sowie bei der Verkehrsmittelwahl. Potenzielle Nutzer wollen sich im Hinblick auf ihre Mobilitätsbedürfnisse bzw. –wünsche nicht einschränken und sind nur begrenzt bereit, mehr Aufwand und mehr Kosten zu akzeptieren (vgl. [75], S. 56ff).

(5) Der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur wird nicht vordergründig als Barriere gesehen. Bisher gehen die potenziellen Nutzer von der Aufladung der Batterie zu Hause oder am Arbeitsplatz aus (vgl. [76], S. 30). Auch die Ergebnisse aus den Pilotprojekten zeigen, dass ursprüngliche Bedenken tatsächlicher Nutzer bezüglich der Reichweite, der Infrastruktur und eigener Mobilitätsanforderungen sich mit der Zeit ausräumen lassen (vgl. [75], S. 58).

(6) Die Treiber der Elektromobilität sind insbesondere ihre positive Wahrnehmung und ein hohes Umweltbewusstsein angesichts der künftigen Rahmenbedingungen: Rohstoffknappheit, steigende Treibstoffpreise, angestrebte CO<sub>2</sub>-Reduktion, Erderwärmung etc. (vgl. [76], S. 31).

(7) Der Ausbau der Biokraftstoffe (I 4) ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehrsbereich, zu einer nachhaltigen Mobilität sowie zur Reduktion der Abhängigkeit von Rohölimporten. Den größten Anteil an der Biokraftstoffproduktion machen bisher die Biokraftstoffe der ersten Generation aus. In Verbindung mit den THG-Reduktionszielen steigt die Nachfrage nach Biokraftstoffen europaweit. Die dafür notwendigen Mengen können nicht in Europa produziert werden, und es wird auf Importe aus Drittländern zurückgegriffen (vgl. [73], S.14). Die Biokraftstoffe der ersten Generation stoßen auf Akzeptanzprobleme vor allem hinsichtlich der Themen einer sinnvollen Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Nahrungs- und Futtermittelproduktion („Tank vs. Teller“-Diskussion) sowie hinsichtlich der stoff-

liche Nutzungskonkurrenzen und des Einflusses auf die Biodiversität (vgl. [73], S. 3). Die mit Biokraftstoffen verbundene Rohstoffbindung sowie ökologische Kriterien (Nachhaltigkeitszertifikate) wie auch soziale Aspekte müssen ebenfalls berücksichtigt werden. (vgl. [73], S. 9). Um in der Öffentlichkeit mehr Akzeptanz und das nach EU-Richtlinie 2009/28/EG festgelegte Mengenziel<sup>13</sup> zu erreichen, wird die Schaffung international anerkannter Nachhaltigkeitskriterien und Zertifizierungssysteme gefordert (vgl. [74], S. 3).

(8) Aus Sicht der Nutzer spielen im Hinblick auf Akzeptanz und Anwendung von Biokraftstoffen zwei weitere Aspekte eine entscheidende Rolle (vgl. [78], S.9): Dies ist zum einen die Verträglichkeit der Kraftstoffe für den Motor; zum anderen soll der Einsatz von Biokraftstoffen nicht zu einer unangemessenen Verteuerung der Mobilität führen.

(9) Die Lkw-Maut-Einführung hatte grundsätzlich kaum Akzeptanzprobleme, weil sich die breite Bevölkerung nicht von der Lkw-Maut betroffen fühlt und sich deshalb mit den Details dieses Instruments wenig auseinander gesetzt hat (vgl. [79], S. 80). Die Transportunternehmen und ihre Interessensverbände waren mit der Lkw-Einführung prinzipiell einverstanden, u.a. weil damit auch die ausländischen Transportunternehmen an den Wegekosten beteiligt werden. Dennoch gab es Kritikpunkte. Diese betrafen v.a. (vgl. [79], S. 81) die

- Verwendung der Einnahmen (Zweckbindung für Infrastrukturausbau);
- Höhe der Gebühren (zusätzliche Verteuerung);
- Kompensatorische Maßnahmen („Harmonisierungsmaßnahmen“ speziell für deutsche Transportunternehmen zum Ausgleich steigender Kosten und Belastungen).

(10) Im Zusammenhang mit der Erhöhung der Mautsätze sowie deren stärkerer Spreizung kritisieren die Interessensverbände vor allem steigende Kostenbelastungen für die Logistik und die verladende Wirtschaft und fordern u.a., dass die Maut-Einnahmen unmittelbar in den Infrastrukturausbau fließen sollen (vgl. [72], S. 12-13).

(11) Bei der Umsetzung eines der ältesten umweltpolitischen Instrumente – der Ökosteuer (I 12) – gab es Kritik im Hinblick auf die Herstellung öffentlicher Akzeptanz als Basis für den Erfolg. Interessensgruppen sowie die breite Öffentlichkeit wurden in den Entscheidungsprozess nicht ausreichend involviert, und die Gründe für die Einführung wurden nicht hinreichend kommuni-

---

<sup>13</sup> 10 % Biokraftstoffanteil ab 2020 (vgl. [74], S.3)

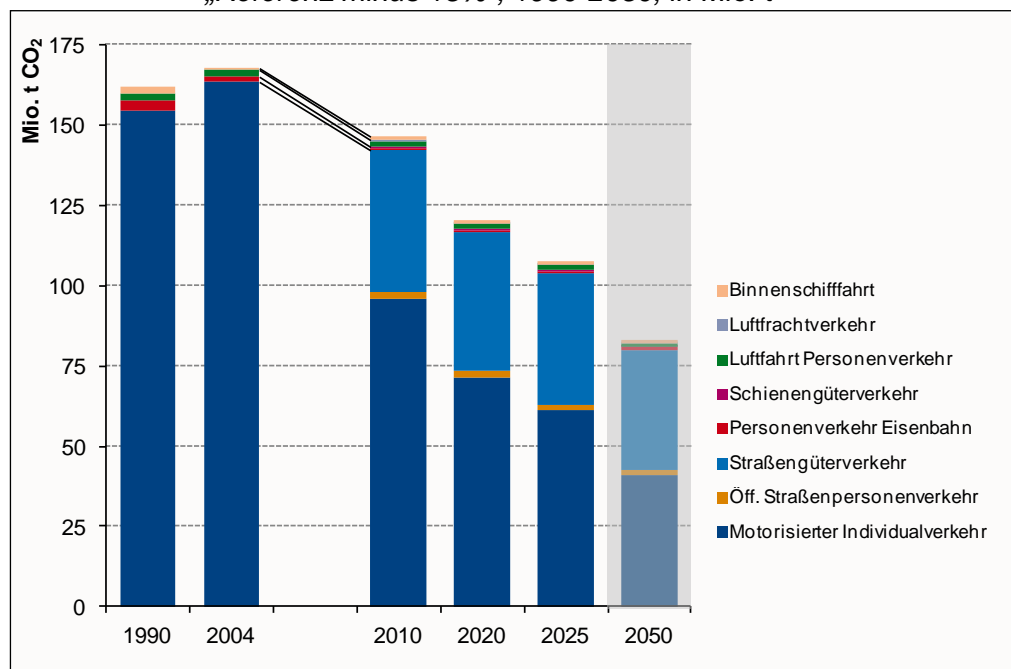
ziert. Die Kritik richtete sich einerseits auf den Begriff selbst, der ideologisch einseitig geprägt sei, und andererseits auf die fehlende Transparenz in Bezug auf die Verteilungsgerechtigkeit. Die seinerzeit aus den zusätzlichen Einnahmen finanzierte Entlastung bei den Sozialversicherungsbeiträgen war für die breite Bevölkerung nicht sichtbar (vgl. [77], S. 77).

## 10 CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch in der Variante „Referenz minus 15%“

(1) Zusätzlich zum Referenzszenario wurde – wie weiter vorne erläutert - die Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energieverbrauch auf Basis einer in den Jahren 2025 und 2050 um 15 % reduzierten Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr berechnet (Variante „Referenz minus 15%“). In Kenntnis neuerer verkehrlicher Entwicklungen, Analysen und Zukunftseinschätzungen erscheint die Annahme eines geringeren Wachstums der Verkehrsleistungen bis 2025 als gemäß „Verflechtungsmatrix 2025“ angemessen. Dieses Vorgehen wurde auch bereits bei der Überprüfung des „Bedarfsplans Schiene“ gewählt. Zur Abschätzung der Wirkung wurde deshalb diese Variante mit pauschal um 15 % reduzierten Verkehrsleistungen im Jahr 2025 und 2050 erstellt. Die Verkehrsleistungsabsenkung zwischen 2010 und 2025 ergibt sich durch lineare Interpolation.

(2) Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß der Variantenrechnung „Referenz minus 15 %“ ist in Abbildung 24 und Tabelle 33 dargestellt.

Abbildung 24: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Verkehrszweigen in der Variante „Referenz minus 15%“, 1990-2050, in Mio. t



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9), Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar

Tabelle 33: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Verkehrszweigen und Summen in unterschiedlichen Abgrenzungen in der Variante „Referenz minus 15%“, 1990-2050, Absolutwerte in Mio. t, Veränderung gegenüber 1990 in % und Veränderungsraten in % p.a.

Absolut in Mio. t CO <sub>2</sub>		1990*	2004*	2010	2020	2025	2050
<b>Emissionen gemäß Kyoto-Protokoll</b>							
	Motorisierter Individualverkehr			95,7	71,5	61,0	40,7
	Öff. Straßenpersonenverkehr			2,4	2,0	1,9	1,9
	Straßengüterverkehr			44,0	43,1	41,1	37,4
1.	<b>Straßenverkehr insgesamt</b>	<b>154,7</b>	<b>163,5</b>	<b>142,1</b>	<b>116,6</b>	<b>103,9</b>	<b>80,1</b>
	Personenverkehr Eisenbahn			0,9	0,6	0,6	0,6
	Schiengüterverkehr			0,3	0,2	0,2	0,2
2.	<b>Schienerverkehr insgesamt</b>	<b>2,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>
	nationale Luftfahrt			1,8	1,6	1,6	1,1
	nationale Luftfracht			0,5	0,4	0,4	0,3
3.	<b>nat. Luftverkehr insgesamt</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,3</b>
4.	<b>Binnenschifffahrt</b>	<b>2,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>
1.-4.	<b>Verkehr insg. gem. Kyoto</b>	<b>161,9</b>	<b>167,9</b>	<b>146,4</b>	<b>120,4</b>	<b>107,6</b>	<b>83,2</b>
	Änderung ggü. 1990		+3,7%	-9,6%	-25,6%	-33,5%	-48,6%
<b>Emissionen sonstige Verkehrszweige, die nach Kyoto-Protokoll nicht angerechnet werden</b>							
5.	Seeverkehr	7,9	8,5	8,9	9,5	9,6	10,8
6.	internationaler Luftverkehr	12,0	21,2	27,6	28,2	28,7	24,7
1.-6.	<b>Verkehr inkl. sonst. V.-zweige</b>	<b>181,9</b>	<b>197,6</b>	<b>182,8</b>	<b>158,1</b>	<b>145,9</b>	<b>118,8</b>
	Änderung ggü. 1990		+8,6%	+0,5%	-13,1%	-19,8%	-34,7%
<b>Indirekte Emissionen die durch Stromverbrauch im Verkehr im Sektor Stromerzeugung induziert werden</b>							
7.	indirekte Emissionen Strom**	12,7	11,9	9,2	9,1	9,0	8,6
1.-7.	<b>Verkehr inkl. alle Zurechenb.***</b>	<b>194,6</b>	<b>209,5</b>	<b>192,1</b>	<b>167,2</b>	<b>154,9</b>	<b>127,3</b>
	Änderung ggü. 1990		+7,7%	-1,3%	-14,0%	-20,4%	-34,6%
<b>Veränderungsraten in % p.a.</b>			<b>1990-2004</b>	<b>2004-2025</b>	<b>2025-2050</b>	<b>2004-2050</b>	<b>1990-2050</b>
1.-4.	Verkehr insg. gem. Kyoto		+0,3	-2,1	-1,0	-1,5	-1,4
1.-6.	Verkehr inkl. sonst. V.-zweige		+0,6	-1,4	-0,8	-1,1	-0,9
1.-7.	Verkehr inkl. alle Zurechenbare***		+0,6	-1,4	-0,8	-1,1	-0,9

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Kyoto-Protokoll (Vgl. Tabelle 9)

\* Werte für 1990, 2004: UBA Treibhausgasinventar  
 \*\* zu indirekten Emissionen Strom Vgl. Tabelle 9

(3) Legt man die Abgrenzung der Emissionen gemäß Kyoto-Protokoll zugrunde und lässt die dem internationalen Luftverkehr und der Seeschifffahrt zurechenbaren Emissionen außen vor, dann vermindern sich die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Variante „Referenz minus 15 %“ zwischen 1990 und 2050 um 48,6 % (Referenzszenario: 39,5 %). Im Zeitraum 1990 bis 2020 beträgt die Minderung 25,6 % (Referenzszenario: 17,4 %).

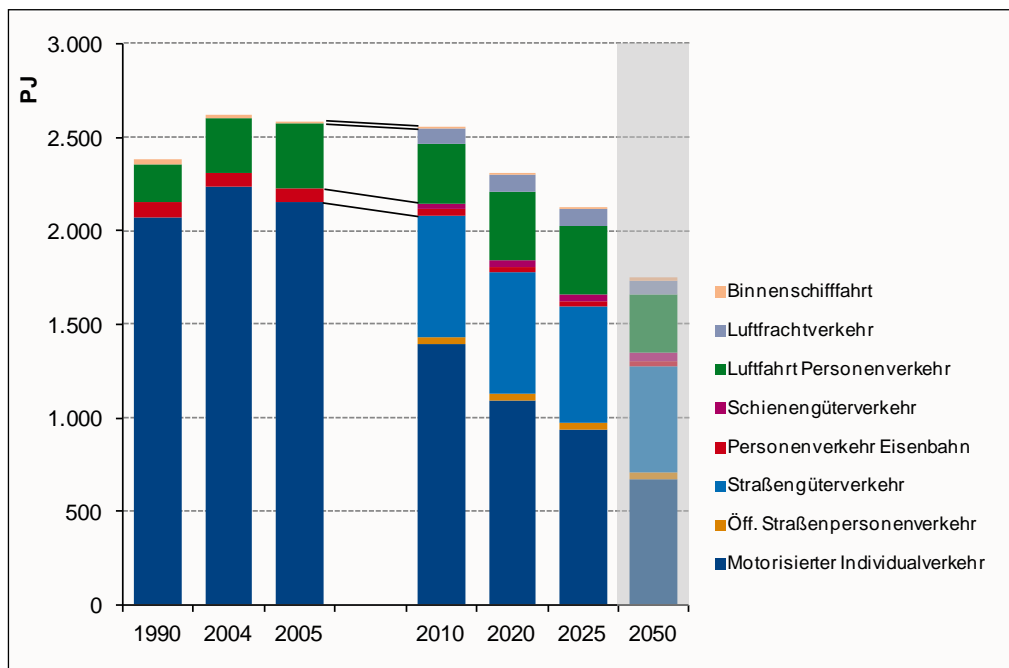
(4) Im Vergleich zum Referenzszenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Variante „Referenz minus 15 %“ zwischen 2004 und 2025 schneller. Die Veränderungsrate beträgt in diesem Zeitraum -2,1 % p.a. im Vergleich zu -1,3 % p.a. im Referenzszenario. Im Zeitraum 2025 bis 2050 unterscheiden sich die jährlichen Veränderungsrate zwischen den Szenarien nicht.

(5) Werden die der Emissionen von internationalem Luftverkehr und Seeschifffahrt sowie die indirekten Emissionen des Stromverbrauchs im Verkehr in die Betrachtung einbezogen, gehen in der Variante „Referenz minus 15 %“ die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2050 um insgesamt 34,6 % zurück (Referenzszenario: 23 %; vgl. Kapitel 6).

(6) Der Endenergieverbrauch in der Abgrenzung der nationalen Energiebilanz verringert sich zwischen 1990 und 2050 um 26,3 % (vgl. Abbildung 25 und Tabelle 34), im Referenzszenario sind es 13,3 %. Im Zeitraum 2005-2025 geht der Verbrauch um jahresdurchschnittlich 1 % zurück (Referenzszenario: 0,2%), zwischen 2025 und 2050 in beiden Szenarien um 0,8 % p.a.

(7) Für die Bezugszeiträume des Energiekonzepts der Bundesregierung ergeben sich folgende Veränderungen: von 2005 bis 2020: -10,7% (bzw. jahresdurchschnittlich -0,8%); von 2005 bis 2050 -32,2% (bzw. jahresdurchschnittlich -0,9%).

Abbildung 25: Endenergieverbrauch nach Verkehrszweigen in der Variante „Referenz minus 15 %“, 1990-2050, in PJ



Quelle: eigene Berechnungen, eigene Darstellung

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen

Tabelle 34: Endenergieverbrauch in der Abgrenzung der Energiebilanz nach Verkehrszweigen und Energieverbrauch des Seeverkehrs in der Variante „Referenz minus 15%“, 1990-2050, in PJ, Änderungen gegenüber 1990 und 2005 in %, Veränderungsrate in % p.a.

Absolutwerte in PJ	1990*	2004*	2005*	2010	2020	2025	2050
<b>Endenergieverbrauch gemäß Energiebilanz (EBIL)</b>							
Motorisierter Individualverkehr				1.390,6	1.093,0	940,9	676,4
Öff. Straßenpersonenverkehr				41,5	35,4	33,0	33,2
Straßengüterverkehr				646,7	648,3	617,8	563,3
<b>Straßenverkehr insgesamt</b>	<b>2.072,7</b>	<b>2.233,0</b>	<b>2.156,2</b>	<b>2.078,8</b>	<b>1.776,7</b>	<b>1.591,7</b>	<b>1.272,9</b>
Personenverkehr Eisenbahn				36,3	32,4	31,2	32,9
Schienengüterverkehr				31,5	33,0	33,3	39,3
<b>Schienerverkehr insgesamt</b>	<b>82,6</b>	<b>72,2</b>	<b>71,6</b>	<b>67,8</b>	<b>65,4</b>	<b>64,5</b>	<b>72,2</b>
Luftfahrt				320,0	365,3	372,9	312,2
Luftfracht				83,2	88,1	87,8	79,4
<b>Luftverkehr insgesamt</b>	<b>195,8</b>	<b>299,4</b>	<b>344,5</b>	<b>403,3</b>	<b>453,4</b>	<b>460,7</b>	<b>391,6</b>
<b>Binnenschifffahrt</b>	<b>27,7</b>	<b>11,6</b>	<b>13,6</b>	<b>10,8</b>	<b>13,6</b>	<b>13,5</b>	<b>15,1</b>
<b>Verkehr insgesamt nach EBIL</b>	<b>2.378,8</b>	<b>2.616,3</b>	<b>2.585,9</b>	<b>2.561,2</b>	<b>2.309,5</b>	<b>2.130,7</b>	<b>1.752,1</b>
Änderung ggü. 2005				-1,0%	-10,7%	-17,6%	-32,2%
Änderung ggü. 1990		+10,0%	+8,7%	+7,7%	-2,9%	-10,4%	-26,3%
<b>Energieverbrauch des Seeverkehrs</b>							
Seeverkehr	102,6	110,1	103,0	115,0	124,5	124,6	140,2
<b>Verkehr nach EBIL zzgl. Seeverk.</b>	<b>2.481,4</b>	<b>2.726,4</b>	<b>2.688,9</b>	<b>2.676,1</b>	<b>2.434,1</b>	<b>2.255,3</b>	<b>1.892,3</b>
Änderung ggü. 2005				-0,5%	-9,5%	-16,1%	-29,6%
Änderung ggü. 1990		+9,9%	+8,4%	+7,8%	-1,9%	-9,1%	-23,7%
<b>Veränderungsrate in % p.a.</b>							
			<b>1990-2005</b>	<b>2005-2025</b>	<b>2025-2050</b>	<b>2005-2050</b>	<b>1990-2050</b>
Verkehr insgesamt nach EBIL			+0,4	-1,0	-0,8	-0,9	-0,7
Verkehr nach EBIL zzgl. Seeverk.			+0,4	-0,9	-0,7	-0,8	-0,6

Quelle: eigene Berechnungen

Abgrenzung gemäß Energiebilanz (Vgl. Tabelle 10)

\*Werte für 1990, 2004 und 2005: AG Energiebilanzen



## 11 Einordnung der Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf die Zielsetzung der Bundesregierung bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch

(1) Für die Einordnung der Untersuchungsergebnisse sind zwei Leitzielsetzungen von ausschlaggebender Bedeutung: die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die Minderung des Endenergieverbrauchs.

(2) Im Energiekonzept der Bundesregierung sind bisher ausschließlich Gesamtreduktionsziele für CO<sub>2</sub>-Emissionen fixiert, nicht aber – im Gegensatz beispielsweise zum Bundesland Baden-Württemberg<sup>14</sup> – sektorale Ziele für die einzelnen Emissionssektoren. Die „Meßlatte“ ist daher eine sektorübergreifende Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Jahr 1990 um 40% bis zum Jahr 2020 und um 80% bis zum Jahr 2050.

(3) Im Referenzszenario gemäß vorliegender Untersuchung reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors je nach Betrachtungsweise recht unterschiedlich: Betrachtet man die Entwicklung gemäß den Vereinbarungen und Konventionen des Kyoto-Protokolls ohne die internationale Luftfahrt, dann reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors insgesamt gegenüber 1990 bis 2020 um gut 17 % und bis 2050 um knapp 40 %. Inzwischen besteht weitgehend Einigkeit, dass die Luftfahrt mit ihren hohen Nachfragesteigerungen nicht weiterhin partiell aus den Betrachtungen und Maßnahmenplanungen des Klimaschutzes ausgeklammert werden darf; auch der stark wachsende Seeverkehr sollte nicht länger aus der Betrachtung ausgeschlossen bleiben. Schließt man folglich die gesamte Luftfahrt und den Seeverkehr der deutschen Seehäfen in die Betrachtungen der CO<sub>2</sub>-Entwicklung ein, dann reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors insgesamt gegenüber 1990 bis 2020 noch um etwas mehr als 3 % und bis 2050 um gut 23 %. Schließt man darüber hinaus auch noch die indirekten Emissionen der Stromerzeugung für den Verkehrssektor ein, dann reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors insgesamt gegenüber 1990 bis 2020 um knapp 5 % und bis 2050 um 23 %.

---

<sup>14</sup> Vgl. Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg 2020PLUS, hrsg. vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart 2011, S. 23. Der Verkehr soll hier gegenüber dem Bezugsjahr 1990 bis 2020 27% und bis 2050 80% CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen.

(4) So oder so steht fest: Der Verkehrssektor erreicht gemäß Referenzszenario die sektorübergreifenden Ziele nicht und verfehlt sie bei Einbeziehung der internationalen Luftfahrt und des Seeverkehrs sogar deutlich. Sollten die anderen Sektoren die Ziele erreichen, würde sich der Verkehrssektor also zunehmend zum Engpassfaktor der Klimaschutzpolitik entwickeln.

(5) Ob die anderen Sektoren bis zum Jahr 2020 sogar eine so starke CO<sub>2</sub>-Minderung schaffen, dass im Verkehrssektor eine Minderung um 17 % hinreichen würde, um das im Energiekonzept der Bundesregierung für die gesamten Treibhausgasemissionen genannte Reduktionsziel von 40 % zu erreichen, kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht beantwortet werden. In den für das Energiekonzept erstellten Zielszenarien war jedenfalls bis zum Jahre 2050 im Verkehrssektor eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber 1990 um 90% erforderlich, um in Verbindung mit den Zielen für die anderen Sektoren das vorgegebene Gesamtziel zu erreichen. Das schafft der Verkehrssektor gemäß dem hier vorgelegten Referenzszenario weder ohne noch mit Einbeziehung von internationaler Luftfahrt und Seeschifffahrt.

(6) Es ist aus heutiger Sicht sinnvoll, die zukünftigen langfristigen Verkehrsnachfragesteigerungen, die noch bis zum Jahre 2007 erwartet wurden, kritisch zu hinterfragen. Wahrscheinlich wird sich insbesondere im Güterverkehr das Wachstum der Verkehrsnachfrage deutlich langsamer vollziehen, als es noch vor einigen Jahren erwartet wurde. Beim aus diesen Gründen berechneten CO<sub>2</sub>-Pfad „Referenz minus 15%“ ergibt sich folgende Entwicklung: Ohne Einschluss der internationalen Luftfahrt und des Seeverkehrs deutscher Seehäfen beträgt die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors insgesamt gegenüber 1990 bis 2020 knapp 26 % und bis 2050 knapp 49 %; schließt man die internationale Luftfahrt und den Seeverkehr in die Betrachtungen ein, dann reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors insgesamt in der Variante „Referenz minus 15%“ gegenüber 1990 bis 2020 um gut 13 % und bis 2050 um knapp 35 %. Und schließt man darüber hinaus auch noch die indirekten Emissionen der Stromerzeugung für Verkehrszwecke in die Betrachtungen ein, dann reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors insgesamt in der Variante „Referenz minus 15%“ gegenüber 1990 bis 2020 um 14 % und bis 2050 um wiederum knapp 35 %.

(7) Ein Blick auf die Beteiligung der Verkehrszweige ergibt: Der Anteil des Straßenverkehrs an den Emissionen reduziert sich bei einer Betrachtung gemäß Kyoto-Protokoll von 96 % im Jahr 1990 bis 2050 nicht. Schließt man in diese Betrachtung alle verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen ein, dann reduziert sich der Anteil des Straßenverkehrs von knapp 80 % im Jahr 1990 bis 2050

auf knapp 63 %. Im Gegenzug erhöht sich bei dieser Betrachtung der Anteil der Luftfahrt von seinerzeit rund 7 % auf 20 % im Jahr 2050 und der Anteil des Seeverkehrs deutscher Häfen von seinerzeit rund 4 % auf etwa 8 % im Jahr 2050. Es erscheint also sinnvoll und dringlich, den internationalen Luftverkehr und die übrigen verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Ziele der Klimaschutzpolitik einzubeziehen, weil gerade deren CO<sub>2</sub>-Emissionen besonders stark zulegen.

(8) Im Hinblick auf die Reduktion des Endenergieverbrauchs existieren gemäß Energiekonzept der Bundesregierung auch sektorale Ziele, nämlich die Reduktion des Endenergieverbrauchs des Verkehrs um 10 % bis 2020 und um 40 % bis 2050, bezogen auf das Basisjahr 2005. Betrachtet man die Ergebnisse zur Abschätzung der Entwicklung des Endenergieverbrauchs gemäß Referenzszenario in der Abgrenzung gemäß Energiebilanz (also unter Einschluss des Luftverkehrs) und bezieht sie auf das Jahr 2005, dann ergibt sich eine Reduktion um knapp 1 % bis zum Jahr 2020 und um gut 20 % bis zum Jahr 2050. Damit werden die Ziele recht deutlich verfehlt. Schließt man den Seeverkehr der deutschen Seehäfen in diese Betrachtung mit ein, dann werden die Ziele noch etwas deutlicher verfehlt. In der Variante „Referenz minus 15 %“ sieht die Bilanz allerdings völlig anders aus: Gegenüber dem Jahr 2005 ergibt sich dann ohne Seeverkehr eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um knapp 11 % bis zum Jahr 2020 und um 32 % bis zum Jahr 2050. Dann würde der Verkehrssektor bis 2020 die Zielvorgabe übererfüllen und bis 2050 nicht weit verfehlen.

(9) Die Betrachtung der verschiedenen Ergebnisse zeigt, wie stark die Beurteilung politischer Initiativen und Instrumente bzw. deren hinreichender Ausprägung von der Einschätzung der zukünftigen Verkehrsentwicklung abhängt. Und es zeigt sich auch, dass unterschiedliche Abgrenzungen der betrachteten verkehrlichen Emittenten zu recht unterschiedlichen Ergebnissen führen können.

(10) Der Versuch einer Beurteilung der Bedeutung einzelner politischer Initiativen und Maßnahmen führt zu folgenden Einschätzungen: Den entscheidenden Ansatzpunkt für die Emissionsminderung stellt die Optimierung bestehender Instrumente dar. Die CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Pkw (I 3) sind ein wichtiges Instrument zur Emissionsminderung; sie sind jedoch in der konkreten Ausformung in einigen Punkten änderungsbedürftig: Die Verordnung enthält das Ziel, die Emissionen der Pkw bis 2015 auf 130 g/km abzusenken. Durch die konkrete Ausformung der Regelungen scheint dieses Ziel jedoch kaum erreichbar: Bei geringen Überschreitungen der Zielwerte müssen die Hersteller nur sehr niedrige Strafen zahlen; zusätzlich gibt es Abmilderungen der An-

forderungen, wenn Hersteller in ihrer Produktpalette auch besonders sparsame Fahrzeuge entwickeln, ohne dass eine Kompensation über eine Verschärfung des mittleren zu erreichenden Zielwertes (ohne Sonderregelungen) für alle Hersteller erfolgt. Der Vergleich mit Best-Practice-Modellen zeigt, dass die Erfüllung von strengeren Anforderungen prinzipiell möglich wäre. Die praktische Ausformung der Regelung führt in einigen verbrauchsrelevanten Bereichen zu Fehlentwicklungen<sup>15</sup>, die sich negativ auf den realen Verbrauch auswirken.

(11) Der Einsatz von Biokraftstoffen soll maßgeblich zur Reduzierung der THG-Emissionen beitragen. Die konventionellen Biokraftstoffe – der ersten Generation – wie z.B. Biodiesel und Bioethanol basieren auf Biomasse und haben teilweise geringe Nettoeffekte, weil die vermiedenen Emissionen im Fahrzeug durch die Vorketten wieder aufgewogen werden könnten. Bezieht man in die Betrachtung Landnutzungseffekte ein, ergeben sich deutlich geringere Nettoeinsparungen oder sogar Nettomehremissionen (vgl. [35], S. 85).

(12) Den Biokraftstoffen der zweiten Generation werden deutlich günstigere Nettovermeidungseffekte zugeschrieben. Doch bestehen Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen technologischen Entwicklung sowie der Preisentwicklung der Rohstoffe. Der Einsatz der Biokraftstoffe gehört zwar zu den teuersten Maßnahmen, hat aber ein hohes Potenzial, da die Biokraftstoffe der zweiten Generation sowohl biogene Rest- und Abfallstoffe als auch Nicht-Nahrungsmittelpflanzen als Einsatzmaterial nutzen können ([39], S. 29).

(13) Im Zusammenhang mit steigender Nachfrage bei allen Verkehrsträgern bekommen Kriterien wie Kraftstoffqualität, Klimaeffizienz und Nachhaltigkeit sowie Kosten eine zunehmende Bedeutung bei der Bewertung. Bei der Bilanzierung der Treibhausgase stellt die Biomassekonversion zu Kraftstoff einen relevanten Faktor dar. Hierzu sollten Standards eingeführt bzw. weiterentwickelt werden, die eine kosteneffiziente und klimawirksame Herstellung und Nutzung der Biokraftstoffe bei gleichzeitig natur- und sozialverträglichen Landnutzung nachhaltig gewährleisten.

(14) Damit im Verkehrsbereich zusätzliche Treibhausgasreduzierungen erzielt werden können, sind weitergehende politische Instrumente notwendig. Diese können prinzipiell an allen technischen Maßnahmen aus Kapitel 5.3

---

<sup>15</sup> Die Masseabhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Zielwerte führt zu dem Anreiz, die Masse der Fahrzeuge zu erhöhen. Dabei ist die Leichtbauweise einer der entscheidenden Hebel um den Verbrauch zu senken. Der Europäische Messzyklus, welcher zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Emissionswerte der Pkw verwendet wird, ist vom realen Einsatz weit entfernt, was zu einer ungünstigen Optimierung der Fahrzeuge führt.

ansetzen. Wichtige Felder stellen die Entwicklung und Förderung von Bio-treibstoffen der zweiten und dritten Generation, die weitergehende Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs sowie der leichten Nutzfahrzeuge und der Einsatz von Wasserstoff im schweren Straßengüterverkehr dar.

## 12 Resümee und Empfehlungen

(1) In der vorliegenden Studie wurde eine methodisch konsistente Untersuchung der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors in Deutschland bis zum Jahre 2050 durchgeführt. Eine Besonderheit besteht darin, dass im Referenzszenario auch die Wirksamkeit bereits beschlossener, aber noch nicht oder nicht vollständig umgesetzter Maßnahmen berücksichtigt wurde. Diese gegenüber „klassischen“ Trendszenarien wichtige Neuerung basiert auf einer umfassenden Literaturanalyse von Instrumenten und Maßnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen und des Endenergieverbrauchs.

(2) Das angestrebte Ziel, den Beitrag des Verkehrssektors zu den entsprechenden Klimaschutz- und energiepolitischen Zielsetzungen der Bundesregierung transparent zu machen, konnte vollumfänglich erreicht werden.

(3) Die intensive Beschäftigung mit der zukünftigen Entwicklung der Verkehrsnachfrage und ihren Bestimmungsfaktoren haben verdeutlicht, dass der Minderungsgrad von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch entscheidend von den zugrunde liegenden Verkehrsnachfrageentwicklungen abhängt. Deshalb wurde eine zusätzliche Variantenrechnung mit um 15% reduzierter Verkehrsleistung in den Jahren 2025 und 2050 erstellt. Diese Diskussion hat sich als sehr wertvoll erwiesen, ist aber noch nicht abgeschlossen, solange keine aktualisierten Langfristprognosen der Verkehrsnachfrageentwicklung vorliegen.

(4) Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die vorliegenden Untersuchungen aktualisiert werden müssen, sobald entsprechende neue Nachfrageprognosen vorliegen und signifikante Abweichungen von den bisherigen Prognosen bzw. den der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden Nachfrageszenarien auftreten. Dazu ist es unerlässlich, dass die entsprechenden Prognosen für Zeithorizonte in Übereinstimmung mit den Klima- und energiepolitischen Zieljahren – aktuell die Jahre 2020 und 2050 – erarbeitet werden. Ausschließliche Punktprognosen für andere Zieljahre sind nur bedingt nützlich.

(5) Inhaltlich zeigt die vorliegende Untersuchung, dass die sektorübergreifenden CO<sub>2</sub>-Zielsetzungen der Bundesregierung vom Verkehrssektor nicht erreicht werden. Das Ausmaß der Zielverfehlung hängt entscheidend vom zu erwartenden Verlauf der Verkehrsnachfrageentwicklung ab. Durch eine regelmäßige Beobachtung dieser Entwicklung könnten Zielabweichungen festgestellt und anschließend konkrete Ausgestaltung sowie Intensität der ent-

sprechenden Maßnahmen so angepasst werden, dass sich die Ziele besser erreichen lassen.

(6) Die Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Entwicklung in anderen Abgrenzungen als gemäß Kyoto-Protokoll zeigt teilweise deutliche Unterschiede. Die Einbeziehung der internationalen Luftfahrt und des Seeverkehrs erschweren die Zielerreichung bezüglich CO<sub>2</sub>-Minderung und Endenergieverbrauch erheblich, weil es sich hier um stark wachsende Verkehrssegmente handelt.

(7) Die (auch sektoral definierten) energiepolitischen Ziele der Bundesregierung scheinen leichter erreichbar zu sein als die bislang nur auf globaler Ebene quantifizierten Klimaschutzziele. Jedenfalls ist der Grad der Zielverfehlung deutlich geringer als bei den klimapolitischen Zielen. Die Berechnungen für die Variante „Referenz minus 15%“ zeigen, dass die energiepolitischen Ziele nahezu erreichbar sind, wenn die beschlossenen Instrumente und Maßnahmen gemäß der deklarierten Absicht umgesetzt werden und sich die Verkehrsnachfrage langfristig auf einem niedrigeren Niveau entwickeln wird, als dies vor einigen Jahren erwartet wurde.

(8) Die Sensitivität der Ergebnisse bestätigt die Forderung, die tatsächliche Verkehrsnachfrage, die neuesten Einschätzungen ihrer Entwicklung sowie die Umsetzung von Handlungskonzepten einem sorgfältigen und regelmäßigen Monitoring zu unterziehen. Ohne ein solches Monitoring besteht das Risiko, mit einzelnen energiepolitischen Maßnahmen „über das Ziel hinauszuschießen“. Um im Verkehr einen angemessenen Beitrag zur Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu leisten, sind in jedem Fall weitergehende Anstrengungen notwendig.

## Literaturliste

### Zentrale Studien und Quellen zur Erstellung des Referenzszenarios

#### Sozioökonomie:

- [1] Prognos AG: Prognos World Reports 2010. Industrial Countries 1995-2035. Facts, Figures and Forecasts. Basel 2010 (einschließlich interner Fortschreibungen bis zum Jahr 2050).
- [2] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 18. November 2009 in Berlin.
- [3] Statistisches Bundesamt: Fachserie 18, Reihe 1.5, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsproduktberechnung, Lange Reihen ab 1970, 2010, Stand Mai 2011.

#### Verkehrsnachfrage:

- [4] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): Verkehr in Zahlen 2009/2010. 38. Jahrgang. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin 2009.
- [5] Intraplan Consult GmbH (ITP), BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. FE-Nr.96.0857/2005. München/Freiburg 2007.
- [6] Intraplan Consult GmbH (ITP), Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (ifo), BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH, PLANCO Consulting GmbH: Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. FE-Nr.96.578/1999. München/Freiburg/ Essen 2001.
- [7] Intraplan Consult GmbH (ITP), Ratzenberger, R.: Gleitende Mittelfristprognose für den Güter und Personenverkehr. Mittelfristprognose Winter 2010/2011. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. München 2011.
- [8] Krafftahrt-Bundesamts zum Straßengüterverkehr: Statistische Mitteilungen. Flensburg. Mehrere Jahre.
- [9] ProgTrans AG: World Transport Reports 2010/2011. Analysis and Forecasts up to 2025. Basel 2010 (einschließlich interner Fortschreibungen bis zum Jahr 2050).
- [10] ProgTrans AG, Prognos AG: Abschätzung langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Im Auftrag des



Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn. Basel 2007.

- [11] Shell Deutschland Oil GmbH (Hrsg.): Shell PKW-Szenarien bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Automobilität. Hamburg 2009.
- [12] Statistisches Bundesamt: Fachserie 8, Reihe 1.1. Verkehr aktuell. Wiesbaden. Mehrere Jahre.
- [13] TRAMP Traffic and Mobility GmbH, Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH): Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen bis 2050. Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Magdeburg 2006.

#### **Instrumente und Maßnahmen im Verkehrssektor und deren Wirkungen:**

- [14] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Harmonisierungsmaßnahmen. Stand: April 2009. Online verfügbar unter <http://www.bmu.de/verkehr/queterverkehr/lkw-maut/doc/4379.php>. Letzter Zugriff 15.11.2011
- [15] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): Auszug aus dem Bericht an den Haushaltsausschuss Konjunkturpaket II, Ziffer 9 Fokus "Elektromobilität". Berlin 2010.
- [16] Die Bundesregierung (Hrsg.): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität. Berlin 2009.
- [17] Umweltbundesamt (UBA): CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau 2010.
- [18] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Leitfaden Klimaschutz im Stadtverkehr. Dessau-Roßlau 2010.

#### **Verkehrsbezogene Instrumente und Maßnahmen im Energiesektor:**

- [19] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (Hrsg.): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Berlin 2006.

- [20] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm. Berlin 2007.
- [21] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH: „Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?“ Berlin/Karlsruhe/München/Wuppertal 2009.
- [22] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart/Kassel/Teltow 2010.
- [23] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland. Leitszenario 2009. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stuttgart/Teltow 2009.
- [24] Die Bundesregierung (Hrsg.): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. Berlin 2007.
- [25] EUtech Energie & Management GmbH: Bewertung und Vergleich mit dem Greenpeace Energiekonzept „Plan B“. Das integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (Meseberger - Beschlüsse). Im Auftrag von Greenpeace Deutschland e.V. Aachen 2007.
- [26] Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW): Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009. Stuttgart/Essen/ Mannheim 2010.
- [27] International Energy Agency: Energy Technology Perspectives 2010. Scenarios & Strategies to 2050. Paris 2010.
- [28] International Energy Agency: World Energy Outlook 2010. Paris 2010.
- [29] McKinsey&Company, Inc.: A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles. O.O. 2010.

- [30] Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut Köln (EWI), Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Basel/Köln/Osnabrück 2010.
- [31] Strategierat Wasserstoff und Brennstoffzellen (Hrsg.): Nationaler Entwicklungsplan (Version 2.1) zum "Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie". o.O. 2007.
- [32] Umweltbundesamt (Hrsg.): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und den Kyoto-Protokoll 2010. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2008. Dessau-Roßlau 2010.
- [33] Umweltbundesamt (UBA): Energierferenzszenario 2000-2020 für Emissionsberechnungen des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau 2005.
- [34] Umweltbundesamt (UBA): Klimaschutz in Deutschland: 40%-Senkung der CO<sub>2</sub> - Emissionen bis 2020 gegenüber 1990. Dessau 2007.

#### **Verkehrliche Wirkungen, Kosten und Nutzen:**

- [35] BSR-Sustainability GmbH, European Climate Forum (ECF), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Öko-Zentrum NRW GmbH, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Potsdam 2008.
- [36] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Kosten und Nutzen des Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung. Berlin 2007.
- [37] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Verkehr und Umwelt. Herausforderungen. Berlin 2007.
- [38] European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC): Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe. Berlin 2009.
- [39] Friedrich Ebert Stiftung (Hrsg.): Klimaschutz und Straßenverkehr. Effizienzsteigerung und Biokraftstoffe und deren Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen. Bonn 2008.
- [40] Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS): Schätzung der Wirkung umweltpolitischer Maßnahmen im Ver-

kehrssektor unter Nutzung der Datenbasis der Gesamtrechnung des Statistischen Bundesamtes. Osnabrück 2004.

- [41] Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU): Fortschreibung und Erweiterung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO, Version 5). Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Heidelberg 2010.
- [42] McKinsey&Company, Inc.: Beitrag der Elektromobilität zu langfristigen Klimaschutzziele und Implikationen für die Automobilindustrie. Überblick erste Ergebnisse und Überlegungen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin 2010.
- [43] McKinsey&Company, Inc.: Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“. o.O. 2007 (mit Aktualisierung 2009).
- [44] Öko-Institut e.V. (Hrsg.): RENEWABILITY. Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Berlin 2009.
- [45] Umweltbundesamt (UBA): Klimawirksamkeit des Luftverkehrs. Dessau–Roßlau 2008.
- [46] Umweltbundesamt: Technikkostenschätzung für die CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung bei Pkw. Dessau–Roßlau 2008.
- [47] Umweltbundesamt (UBA): Was bringt die Ökosteuer – weniger Kraftstoffverbrauch oder mehr Tanktourismus? Dessau-Roßlau 2005.
- [48] Verband der Automobilindustrie (VDA): Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft. Berlin 2010.
- [49] Verband der Automobilindustrie (VDA): Jahrbuch 2010. Berlin 2010.
- [50] Verband der Automobilindustrie (VDA): CO<sub>2</sub> - Minderungen im deutschen Verkehrssektor. Eine Zwischenbilanz. Frankfurt(Main) 2007.
- [51] Winterhoff, M., Kahner, C., Schnurrer S., Ulrich, C.: The coming transformation of the automotive industry. In: Prism 2/2009.
- [52] Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH: Elektromobilität und erneuerbare Energien. Wuppertal 2007.
- [53] Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH: Luftverkehrsstudie 2007: Im Steigflug in die Klimakatastrophe? Im Auftrag von BUND e.V., Bund Naturschutz in Bayern e.V., Landtagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen in Bayern. Wuppertal 2008.

**Kosten und wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes:**

- [54] Fraunhofer-Institut System- und Innovationsforschung (ISI), Öko-Institut e.V., Forschungszentrum Jülich, ETH Zürich, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE): Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes. Ufoplan-Vorhaben 205 46 434. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Karlsruhe/Berlin/Jülich/Zürich 2008.
- [55] Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS): Wirtschaftliche Bewertung von Maßnahmen des integrierten Energie und Klimaprogramms (IEKP). Beschäftigungseffekte des Klimaschutzes in Deutschland. Untersuchungen zu gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen ausgewählter Maßnahmen des Energie und Klimapakets. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Osnabrück 2008.
- [56] Öko-Institut e.V., Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), Forschungszentrum Jülich Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE): Energiepreise und Klimaschutz. Wirkung hoher Energieträgerpreise auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung bis 2030. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin/Jülich 2008.

**Politische Instrumente:**

- [57] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Energiesteuergesetz EnergieStG. Berlin 2006
- [58] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): Roadmap Biokraftstoffe. Gemeinsame Strategie von BMU/BMELV, VDA, MWV, IG, VDB und DBV. Stand 14.11.2007. Berlin 2007.
- [59] Bundestag: Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform. In: Bundesblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 14, ausgegeben zu Bonn am 29. März 1999.
- [60] Bundestag: Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz - BioKraftQuG). Berlin 2006.
- [61] Die Bundesregierung (Hrsg.): Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie VES. Eine gemeinsame Initiative von Politik und Wirtschaft. 3. Statusbericht der Task Force an das Steering Committee. Berlin 2007.
- [62] Prognos AG, Öko-Institut e.V., Dr. Ziesing, H.-J.: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her Denken. Im Auftrag des WWF. Frankfurt a.M. 2009.

- [63] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Politiksznarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Dessau-Roßlau 2009.
- [64] Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (Ifeu): Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Einführung alternativer Kraftstoffe, insbesondere regenerativ erzeugten Wasserstoffs. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2006.

#### **Energieverbrauch und Treibhausgase im Verkehrssektor :**

- [65] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1990-2009.
- [66] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Erdgas und Biometan im künftigen Kraftstoffmix. Berlin 2010.
- [67] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): DIW-Wochenberichte, Berlin, diverse Jahrgänge.
- [68] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Verkehr in Zahlen 2010/2011.
- [69] Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Daten über Fahrzeugbestände und Neuzulassungen, Flensburg, diverse Jahrgänge.
- [70] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2009 (Endstand: 17.01.2011). Dessau Januar 2011.
- [71] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2009 (Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2011) Dessau-Roßlau, Juni 2011.

#### **Studien zur Akzeptanz bei der Umsetzung politischer Instrumente:**

- [72] Bundesverband der deutschen Industrie (BDI): BDI-Bewertung des „Integrierten Klima- und Energieprogramms der Bundesregierung“. Stand 2007. Online verfügbar unter: [http://www.bdi-online.de/SBRECHERCHE/infostartpage\\_mod.asp?InfoID=%7BE0C09004-C416-4B96-A4E3-36C9360767B9%7D](http://www.bdi-online.de/SBRECHERCHE/infostartpage_mod.asp?InfoID=%7BE0C09004-C416-4B96-A4E3-36C9360767B9%7D). Letzter Zugriff 17.11.2011
- [73] Deutsches Biomassen Forschungszentrum /DBFZ): Ökologische und soziale Aspekte der Kraftstofferzeugung und -nutzung aus Biomasse“. Endbericht des DBFZ im Rahmen des Verbundvorhabens „Sozial- und verhaltenswissenschaftliche Aspekte der Kraftstofferzeugung und -nutzung aus Biomasse“ mit der Forschungsgruppe Umwelt-

psychologie an der Universität des Saarlandes (FG-UPSY). Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt-, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Leipzig 2010.

- [74] Die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP): Position der UFOP zum Verhandlungsstand über den Entwurf einer Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Online verfügbar unter: [www.ufop.de/3030.php](http://www.ufop.de/3030.php). Letzter Zugriff 17.11.2011
- [75] Fraunhofer ISI: Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Eine empirische Studie zu attraktiven Nutzungsvarianten, Fahrzeugkonzepten und Geschäftsmodellen aus Sicht potenzieller Nutzer. Ergebnisse aus dem Projekt „Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM“. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Karlsruhe 2011.
- [76] Fraunhofer ISI: Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Analyse aus Expertensicht. Ergebnisse aus dem Projekt „Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM“. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Karlsruhe 2010.
- [77] Interwies, E, et al. / Ecologic, Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik: Ökosteuern – Stand der Diskussion und der Gesetzgebung in Deutschland, auf der EU-Ebene und in den anderen europäischen Staaten. Kurzstudie im Auftrag des Rates für Nachhaltige Entwicklung. Überarbeiteter Endbericht. Berlin Mai 2001.
- [78] Müller, M./ADAC: IEKP – alle Ziele erreicht? Bewertung der beschlossenen Maßnahmen im Verkehrsbereich. Forum für Zukunftsenergien. 35. Sitzung des Arbeitskreises Zukunftsenergien. 25. Juni 2008.
- [79] Seidel, T. et al. / Transport Institutions in the Policy Process: Political acceptability and perceived legitimacy of transport policy implementation. Deliverable 4. Final Version. 27.07.2004. Helsinki.

#### **Weitere im Rahmen des Folgeauftrages verwendete Studien**

- [80] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (Hrsg.): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2010, Berlin/Köln, Stand: Juli 2011.
- [82] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Amtliche Mineralölstatistiken für die Bundesrepublik Deutschland (vgl. „[http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel\\_rohoel/ausgewaehlte\\_statistiken/index.html](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel_rohoel/ausgewaehlte_statistiken/index.html)“).

- [83] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE): Leitstudie 2010 - Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Stuttgart/Kassel/Teltow 2011.
- [84] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): Fachartikel: Das neue CO<sub>2</sub>-Monitoring, Flensburg 2011.
- [82] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Shell Deutschland: Shell LKW-Studie - Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030 Hamburg/Berlin, April 2010.
- [85] Statistisches Bundesamt: Umweltökonomische Gesamtrechnungen - Weiterentwicklung der Berechnungen zum Energieverbrauch und zu den CO<sub>2</sub> -Emissionen des Straßenverkehrs im Rahmen des NAMEA-Rechenansatzes – Methodenbericht, Wiesbaden, 2011.
- [86] Statistisches Bundesamt: Umweltökonomische Gesamtrechnungen - Transportleistungen und Energieverbrauch im Straßenverkehr 2000 - 2008 Ausgewählte Ergebnisse zum Methodenbericht, Wiesbaden, 2011.
- [87] Statistisches Bundesamt: Verkehr: Seeschifffahrt, verschiedene Jahrgänge, Fachserie 8, Reihe 5, Wiesbaden verschiedene Jahre; ferner: Verkehr aktuell, verschiedene Ausgaben, Fachserie 8, Reihe 1.1, Wiesbaden, verschiedene Jahre.
- [88] Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2010 (Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar - 2012), - EU-Submission -, Dessau-Roßlau, 2012.



Henric Petri-Strasse 9  
CH-4010 Basel  
Telefon +41 61 3273 - 200  
Fax +41 61 3273 - 300  
Email [info@prognos.com](mailto:info@prognos.com)  
[www.prognos.com](http://www.prognos.com)

Prognosen und Strategieberatung  
für Transport und Verkehr

Henric Petri-Strasse 9  
CH-4010 Basel  
Telefon +41 61 327 34 70  
Fax +41 61 327 34 71  
Email [info@progtrans.com](mailto:info@progtrans.com)  
[www.progtrans.com](http://www.progtrans.com)

#### Schlussbericht

Referenzszenario für die Einsparpotenziale der Treibhausgas(THG)-Emissionen und des Endenergieverbrauchs  
im Verkehrsbereich für die Zeithorizonte 2020 und 2050

Dr. Stefan Rommerskirchen (ProgTrans)

Natalia Anders (ProgTrans)  
Dr. Michael Schlesinger (Prognos)  
Samuel Strassburg (Prognos)

Basel, 31.08.2012

Auftraggeber:  
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung