

TEXTE

84/2013

Weiterentwicklung des Analyseinstruments Renewbility

RENEWBILITY II – Szenario für einen anspruchsvollen
Klimaschutzbeitrag des Verkehrs

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3710 96 175
UBA-FB 001786/2

Weiterentwicklung des Analyseinstruments Renewbility

**RENEWBILITY II – Szenario für einen anspruchsvollen
Klimaschutzbeitrag des Verkehrs**

von

Dr. Wiebke Zimmer, Florian Hacker, Lothar Rausch
Öko-Institut e.V.

Uwe Fritsche
Öko-Institut e.V. /jetzt: IINAS GmbH

**Rita Cyganski, Dr. Andreas Justen, Gunnar Knitschky, Andreas
Lischke, Markus Mehlin, Dr. Stephan Müller**
DLR - IVF

Dr. Wolfgang Schade, Johannes Hartwig, Luisa Sievers
Fraunhofer-ISI

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-des-analyseinstruments>
verfügbar.

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

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Öko-Institut e.V. Büro Berlin Schicklerstr. 5-7 10179 Berlin
Abschlussdatum:	Mai 2013
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet I 3.1 Umwelt und Verkehr Martin Lambrecht

Dessau-Roßlau, Oktober 2013

Kurzbeschreibung

Das Projekt Renewbility II hatte zum Ziel den bestehenden Renewbility-Modellverbund weiterzuentwickeln und im Rahmen von Szenariobetrachtungen den möglichen Klimaschutzbeitrag des Verkehrssektors bis zum Jahr 2030 unter Mitwirkung unterschiedlichster gesellschaftlicher Akteure zu quantifizieren.

Im Basisszenario werden bestehende Regulierungen im Verkehr berücksichtigt und bestehende Entwicklungen fortgeschrieben. Im Ergebnis können im Basisszenario bei deutlichen Effizienzsteigerungen, dem zunehmenden Einsatz alternativer Kraftstoffe im Verkehr und einer weiter zunehmenden Verkehrsnachfrage die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 12 % gegenüber 2005 gesenkt werden.

Im Klimaschutzszenario können mit deutlich ambitionierteren Maßnahmen die Treibhausgasemissionen im selben Zeitraum um 37 % reduziert werden bei gleichzeitiger Stärkung der deutschen Wirtschaftskraft und Stabilisierung des Staatshaushaltes. Neben einer weiteren Effizienzsteigerung und dem Einsatz von alternativen Antrieben und Kraftstoffen, trägt insbesondere die Verlagerung, aber auch die Vermeidung von Verkehren zur Emissionsminderung bei.

Abstract

The goal of the Renewbility II project was to further enhance the integrated modelling system of the preceding Renewbility project. In a second step, the possible contribution of the transport sector to climate protection is quantified up to the year 2030 using scenario analysis which draws upon the involvement of various social stakeholders.

For the base scenario current regulations in the transport sector are considered and assumptions and projections are made on the basis of existing developments. Greenhouse gas emissions are reduced by 12 % in 2030 compared to 2005 in the base scenario as a result of significant efficiency improvements, an increased usage of alternative fuels and a rising transport demand.

In the climate protection scenario significantly more ambitious transport measures are implemented while simultaneously increasing Germany's economic strength and stabilising the national budget. The resulting impact on greenhouse gas emissions amounts to a 37 % reduction in the same timeframe. In addition to further efficiency gains and the use of alternative propulsion technologies and fuels, mode shifts and transport avoidance contribute to lower emissions.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

Maßeinheiten

0	Zusammenfassung	1
1	Einleitung	3
1.1	Hintergrund und Ausgangslage.....	3
1.2	Renwbility II: Das Forschungsprojekt.....	4
1.2.1	Die Ziele	4
1.2.2	Die Neuerungen.....	5
1.2.3	Szenarioprozess und Szenariogruppe – Partizipation gesellschaftlicher Akteure.....	5
1.3	Aufbau des Endberichts	6
2	Das Modell	7
2.1	Überblick über die Modellkomponenten.....	7
2.2	Technologiedatenbasis	9
2.2.1	Fahrzeuge	9
2.2.2	Energieträger- und Kraftstoffvorketten.....	10
2.3	Modellierung des Fahrzeugbestands	14
2.3.1	Pkw-Bestand.....	15
2.3.2	Lkw-Bestand.....	15
2.3.3	Bestand sonstige Verkehrsmittel	15
2.4	Modellierung der Verkehrsnachfrage	16
2.4.1	Personenverkehr	16
2.4.2	Güterverkehr	17
2.5	Stoffstromanalyse	19
2.6	Ökonomische Modellierung	21
2.6.1	Projektgeschichte des ASTRA-Modells.....	21
2.6.2	Die deutsche Version von ASTRA	23
2.6.3	Zusammenspiel von ASTRA-D mit den Verkehrsmodellen im Projekt Renwbility II	24
2.6.4	Die Modellierung des Bruttoinlandproduktes in ASTRA-D.....	27

3	Renewbility II-Szenarien.....	30
3.1	Vorgehensweise und Zielstellung	30
3.2	Ausgestaltung der Szenarien	30
3.2.1	Aktualisiertes Basisszenario	30
3.2.1.1	Vorgehen	30
3.2.1.2	Annahmen und neu modellierte Parameter.....	31
3.2.1.3	Wirkung veränderter Rahmendaten – methodisches Vorgehen und Ergebnisse	38
3.2.1.4	Zusammenfassung: Veränderte Rahmendaten und deren Auswirkungen im Basisszenarios	48
3.2.2	Klimaschutzszenario.....	49
3.2.2.1	Vorgehen	49
3.2.2.2	Maßnahmen im Klimaschutzszenario.....	49
3.2.3	Ausgestaltung von Basis- und Klimaschutzszenario im Überblick	66
3.3	Die Szenarioergebnisse.....	68
3.3.1	Fahrzeugmarkt und Verkehrsnachfrage.....	68
3.3.1.1	Personenverkehr: Entwicklungen im Fahrzeugmarkt	68
3.3.1.2	Personenverkehrsnachfrage: Modellierung der Untersuchungsräume.....	70
3.3.1.3	Personenverkehr: Entwicklungen der Fahr- und Verkehrsleistung	72
3.3.1.4	Güterverkehr: Entwicklungen im Fahrzeugmarkt.....	74
3.3.1.5	Güterverkehr: Entwicklungen der Fahr- und Verkehrsleistung.....	76
3.3.1.6	Szenaretten zur Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr	78
3.3.2	Endenergiebedarf	81
3.3.2.1	Gesamtverkehr	82
3.3.2.2	Personenverkehr	82
3.3.2.3	Güterverkehr	83
3.3.3	Treibhausgasemissionen.....	84
3.3.3.1	Gesamtverkehr	84
3.3.3.2	Personenverkehr	86
3.3.3.3	Güterverkehr	88
3.3.3.4	Szenaretten zur THG-Emissionsentwicklung im Personen- und Güterverkehr	90

3.3.4	Volkswirtschaftliche Effekte	94
3.3.4.1	Zentrale Annahmen zu zusätzlichen Investitionen und Exporten im Klimaschutzszenario.....	94
3.3.4.2	Ergebnisse der ökonomischen Modellierung.....	101
3.3.4.3	Sensitivitätsanalysen der BIP Ergebnisse	119
3.3.5	Einordnung der Szenarioergebnisse von Renewbility II.....	123
3.3.5.1	Die Szenarioergebnisse im Kontext des Vorgängervorhabens Renewbility I	123
3.3.5.2	Die Szenarioergebnisse im Kontext der Klimaschutzberichterstattung	125
3.3.5.3	Die Szenarioergebnisse im Kontext energie- und umweltpolitischer Zielsetzungen	126
4	Zusammenfassung und Ausblick	129
5	Literatur	135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der RENEWBILITY-Modellverbund und die Interaktion der verschiedenen Module	8
Abbildung 2:	Zusammenspiel der Modelle der Fahrzeugneuzulassungen sowie der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr	17
Abbildung 3:	Strukturgrößen von NUTS 2 und NUTS 3 (KGS 5)	19
Abbildung 4:	Energie- und Stoffströme. Die wesentlichen Prozessketten der Stoffstromanalyse.....	20
Abbildung 5:	Darstellung der Verbindungen und Interaktionen der komplexen Einzelsysteme des ASTRA-Modells anhand des integrierten ökonomischen Kreislaufs	23
Abbildung 6:	Verknüpfungen zwischen Maßnahmen, Verkehr und Ökonomie	26
Abbildung 7:	Modellierung von BIP, Beschäftigung, Investitionen und Konsum in ASTRA-D	29
Abbildung 8:	BIP und Bevölkerungsentwicklung im Basisszenario von Renewbility I (VP 2025) und Renewbility II (ESZ/Basis)	39
Abbildung 9:	Deutsche Ex- und Importe im Basisszenario von Renewbility I (VP 2025) und Renewbility II (ESZ/Basis) – ASTRA-D Modellergebnisse.....	40
Abbildung 10:	Anpassung der Tonnage im Basisszenario von Renewbility I (VP 2025) und Renewbility II (ESZ/Basis) – ASTRA Modellergebnisse	41
Abbildung 11:	Entwicklung der Pkw-Neuzulassungsstruktur im Basisszenario	42
Abbildung 12:	Pkw-Fahrleistungen im Basisszenario (Renewbility I und Renewbility II).....	44
Abbildung 13:	Personenverkehrsleistungen im Basisszenario (Renewbility I und Renewbility II)	45
Abbildung 14:	Trend der Lkw-Neuzulassungen bis 2030	46
Abbildung 15:	Basisentwicklung der Fahrleistung im Straßengüterverkehr, Vergleich von Renewbility I und Renewbility II.....	47
Abbildung 16:	Zusammenwirken von Angebotsplanung (LINOP) und TAPAS.....	51
Abbildung 17:	Entwicklung der Kraftstoffpreise in Euro pro Liter in Basis- und Klimaschutzszenario.....	69
Abbildung 18:	Modal Split im Basisszenario 2030 (obere Reihe) sowie im Klimaschutzszenario (untere Reihe) nach BBR-Raumtyp sowie gesamt	70
Abbildung 19:	Wegeaufkommen nach Modus und BBR-Raumtyp im Basisszenario 2030 sowie im Klimaschutzszenario 2030.....	71
Abbildung 20:	Pkw-Fahrleistung im Basisszenario sowie im Klimaschutzszenario	72
Abbildung 21:	ÖPNV-Fahrleistung im Basisszenario sowie im Klimaschutzszenario	73

Abbildung 22:	Personenverkehrsleistung im Basisszenario sowie im Klimaschutzszenario.....	74
Abbildung 23:	Anteile an den Fahrzeugneuzulassungen nach Effizienzvarianten im Jahr 2030.....	75
Abbildung 24:	Fahrleistung aller Lkw im Basis- und im Klimaschutzszenario.....	76
Abbildung 25:	Entwicklung der Güterverkehrsleistungen im Basis und im Klimaschutzszenario.....	77
Abbildung 26:	ÖPNV-Fahrleistungen in der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“ im Vergleich zu Basis- und Klimaschutzszenario.....	80
Abbildung 27:	Fahrleistung des Straßengüterverkehrs in der Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“ im Vergleich zu Basis- und Klimaschutzszenario.....	81
Abbildung 28:	Entwicklung des Endenergiebedarfs des Verkehrs	82
Abbildung 29:	Entwicklung des Endenergiebedarfs im Personenverkehr.....	83
Abbildung 30:	Entwicklung des Endenergiebedarfs im Güterverkehr	84
Abbildung 31:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr	85
Abbildung 32:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr, differenziert nach direkten und indirekten Emissionen	86
Abbildung 33:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr	87
Abbildung 34:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr, differenziert nach Verkehrsmittel und Antriebstyp	88
Abbildung 35:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr	89
Abbildung 36:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr, differenziert nach Verkehrsmittel und Antriebstyp	90
Abbildung 37:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in den Szenaretten „ohne Biokraftstoffe“ und „ohne Elektromobilität“	92
Abbildung 38:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr in der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“	93
Abbildung 39:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr in der Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“	94
Abbildung 40:	Veränderung des Handelsimpulses Exporte im Vergleich zum Basisszenario	100
Abbildung 41:	Veränderung des Handelsimpulses Importe im Vergleich zum Basisszenario	101
Abbildung 42:	Veränderungen der Verkehrsindikatoren im Vergleich zum Basisszenario	102
Abbildung 43:	Saldo der verkehrsbezogenen Investitionen im Vergleich zum Basisszenario (endogene Investitionen).....	103

Abbildung 44:	Entwicklung des Konsums in Basis- und Klimaschutzszenario	105
Abbildung 45:	Konsumänderung im Vergleich zum Basisszenario im Jahr 2030	106
Abbildung 46:	Sektorale Konsumänderung im Vergleich zum Basisszenario (aggregiert).....	107
Abbildung 47:	Vergleich Konsumwachstum im Basis- und im Klimaschutzszenario.....	108
Abbildung 48:	Investitionsveränderungen im Vergleich zum Basisszenario in 2020	109
Abbildung 49:	Veränderung des Investitionsverhaltens im Vergleich zum Basisszenario (aggregiert).....	110
Abbildung 50:	Sektorale Unterschiede in der Bruttowertschöpfung im Vergleich zum Basisszenario in 2030	112
Abbildung 51:	Veränderung der Bruttowertschöpfung im Vergleich zum Basisszenario in 2020 sowie 2030 (aggregiert).....	113
Abbildung 52:	Veränderung in der Beschäftigung im Vergleich zum Basisszenario in 2030.....	115
Abbildung 53:	Veränderung der Anzahl der Beschäftigten im Vergleich zum Basisszenario in 2020 sowie 2030 (aggregiert).....	116
Abbildung 54:	Veränderung der Kraftstoffsteuern gegenüber dem Basisszenario	117
Abbildung 55:	Veränderung der Produktsteuern gegenüber dem Basisszenario.....	118
Abbildung 56:	Vergleich Bruttoinlandsprodukt im Basis- und Klimaschutzszenario	119
Abbildung 57:	Sensitivität Ergebnisse BIP im Vergleich zum Basisszenario.....	120
Abbildung 58:	Sensitivität Ergebnisse Gesamtbeschäftigung im Vergleich zum Basisszenario	121
Abbildung 59:	Sensitivität Ergebnisse Staatseinnahmen im Vergleich zum Basisszenario	122
Abbildung 60:	Weitere Sensitivitäten Ergebnisse BIP im Vergleich zum Basisszenario	123
Abbildung 61:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr – Vergleich der Szenarioergebnisse aus Renewbility I und Renewbility II.....	125
Abbildung 62:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr – Vergleich der Szenarioergebnisse aus Renewbility I und Renewbility II.....	127
Abbildung 63:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr – Vergleich der Szenarioergebnisse aus Renewbility I und Renewbility II.....	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	THG-Emissionen der Energievorketten (ohne Biokraftstoffe) in Renewbility II	12
Tabelle 2:	THG-Emissionen für die Bereitstellung von biogenen Kraftstoffen (Vorketten) in Renewbility II	13
Tabelle 3:	Übersicht der Übergabevariablen der Fahrzeugbestands- und Verkehrsnachfragemodelle an ASTRA-D	24
Tabelle 4:	Überblick der Annahmen und neu modellierter Parameter im Basisszenario von Renewbility II.....	32
Tabelle 5:	Anteile und Herkunft von Biokraftstoffen nach dem deutschen NREAP	34
Tabelle 6:	Anteile und Herkunft von Biokraftstoffen im Basisszenario von Renewbility II	36
Tabelle 7:	Gesamte THG-Emissionen für Kraftstoffe (inkl. Nutzung) im Basisszenario von Renewbility II.....	37
Tabelle 8:	Kraftstoffpreisentwicklung im Basisszenario von Renewbility II.....	38
Tabelle 9:	Trendfortschreibung der Lkw-Neuzulassungen nach Größenklassen	46
Tabelle 10:	Entwicklung der Kraftstoffpreise im Klimaschutzscenario von Renewbility II	55
Tabelle 11:	Gesamte THG-Emissionen für Kraftstoffe (inkl. Nutzung) im Klimaschutzscenario von Renewbility II.....	56
Tabelle 12:	Angenommene Gewichtungsfaktoren und Auslastungsgrade der Tourenmuster im Straßengüterverkehr	58
Tabelle 13:	Relevante Abschnitte der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2003)	61
Tabelle 14:	Maßnahmenumsetzung je Raumkategorie im Klimaschutzscenario.....	66
Tabelle 15:	Überblick der Ausgestaltung von Basis- und Klimaschutzscenario	67
Tabelle 16:	Zusammenfassung des exogenen Investitionsimpulses der investiven Maßnahmen im Klimaschutzscenario.....	96

Abkürzungen

ASTRA(-D)	Assessment of Transport (Deutschland)
AME	Altfettmethylester
BAB	Bundesautobahnen
bbf	Barrel
BEV	batterieelektrisches Fahrzeug (battery-electric vehicle)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BtL	Biomass to Liquid, deutsch: Biomasseverflüssigung
CEE	Central/Eastern Europe
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
dLUC	direkte Wirkungen von Landnutzungsänderungen auf THG-Bilanzen
EEA	European Environment Agency
ESZ	Energieszenarien
EtOH-2G	lignozellulotisches Ethanol 2. Generation
ETS	Emission Trading System
EU-RED	Erneuerbare Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive)
FuE	Forschung und Entwicklung
FQD	Kraftstoffqualitätsrichtlinie (Fuel Quality Directive)
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
GLZ	Gliederzug
GÜV	Grenzüberschreitender Verkehr
iLUC	indirekte Wirkungen von Landnutzungsänderungen auf THG-Bilanzen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IT	Informationstechnik
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
KGS	Kreisgemeindeschlüssel
KUP	Kurzumtriebsplantagen
KV	Kombinierter Verkehr
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	motorisierter Individualverkehr
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NMIV	nicht-motorisierter Individualverkehr

NREAP	National Renewable Energy Action Plan
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques (Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik)
Ö(P)V	Öffentlicher (Personen-)Verkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PHEV	Plug-In-Hybrid-Fahrzeug (plug-in hybrid electric vehicle)
PME	Palmöl-Methylester
RME	Rapsöl-Methylester
SME	Sojaöl-Methylester
SSU	Straßen-, S- und U-Bahnen
SZM	Sattelzugmaschine
TAPAS	Travel and Activity Patterns Simulation
THG	Treibhausgas
TREMOT	Transport Emission Model
TRT	Transporti e Territorio
WISEVA	Verkehr in Städten und Regionen – Erzeugung, Verteilung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage
VISUM	Verkehr in Städten Umlegung - Verkehrsmodell
VP 2025	Verkehrsprognose 2025
zGG	zulässiges Gesamtgewicht
ZR	Zuckerrohr

Maßeinheiten

Fzgkm	Fahrzeugkilometer
gTHG	Gramm Treibhausgas
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
PJ	Petajoule
Pkm	Personenkilometer
tkm	Tonnenkilometer

0 Zusammenfassung

Das im Rahmen von Renewbility II gemeinsam mit Stakeholdern entwickelte Klimaschutzszenario zeigt, dass auch der Verkehrssektor bis 2030 eine deutliche Verringerung der Treibhausgasemissionen erzielen (-37 %) und somit maßgeblich zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung beitragen kann. Eine entsprechende Entwicklung setzt allerdings eine ambitionierte Maßnahmenausgestaltung voraus, die sich nicht auf technische Effizienzsteigerungen beschränkt, sondern auch die Verkehrsverlagerung und -vermeidung im Güter- und Personenverkehr fördert.

Im Basisszenario, welches sich an bestehenden Maßnahmen orientiert, wird im selben Zeitraum hingegen nur eine sehr moderate Minderung (-12 %) der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen erzielt.

Das Forschungsprojekt Renewbility

Im Projekt Renewbility wurde ein Analyseinstrument entwickelt, das:

- Potenziale und Hemmnisse für eine nachhaltige Mobilität untersucht,
- die Wechselwirkungen verschiedener Maßnahmen sowie zwischen dem Verkehrs- und Energiesektor aufzeigt,
- in enger Kooperation mit unterschiedlichen gesellschaftlichen Akteuren entwickelt und angewendet wurde.

Hierfür wurde ein Modellierungsansatz gewählt, der die Entwicklungen im Mobilitätssektor bis zum Jahr 2030 sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite abbildet. Im Detail analysiert wurden der innerdeutsche Straßen-, Schienen- und Binnenschiffsverkehr.

Renwibility II baut auf den Projektergebnissen von Renewbility I (2005 bis 2009) auf und wurde im Projektzeitraum 2010 bis 2012 um das ökonomische Modell ASTRA-D erweitert. Damit können nun auch die volkswirtschaftlichen Effekte von Klimaschutzmaßnahmen abgebildet werden. Ein aktualisiertes Basisszenario sowie ein über Renewbility I hinausgehendes Klimaschutzszenario wurden in der zweiten Projektphase konzipiert und anschließend mit dem weiterentwickelten Renewbility-Modellverbund analysiert.

Der Szenarioprozess und die Szenarioausgestaltung

Die Modell- und Szenarioentwicklung erfolgte unter Beteiligung einer Gruppe aus Vertretern der Automobil-, Bahn-, Energie-, Logistik- und Mineralölbranche sowie von Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden. In einem zweijährigen Prozess wurden ein aktualisiertes Basisszenario sowie ein Klimaschutzszenario entwickelt. Maßgabe für das Renewbility II-Klimaschutzszenario war es, ambitionierte politische Klimaschutzziele durch einen möglichst großen Beitrag des Verkehrs zu sichern und zu fördern.

Gegenüber Renewbility I wurden die Handlungsoptionen insbesondere um Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung ergänzt. Zusätzlich wurden bereits berücksichtigte Maßnahmen teilweise noch ambitionierter ausgestaltet.

Die Ergebnisse

Das Klimaschutzszenario führt zu unterschiedlichen Ergebnissen für den Personen- und den Güterverkehr, wobei die ermittelten Treibhausgasemissionen neben den direkten Emissionen der Verkehrsträger auch die indirekten Emissionen aus der Fahrzeug- und Kraftstoffherstellung umfassen.

Zur Verkehrsnachfrage

Im Personenverkehr sinkt der Anteil des motorisierten Individualverkehrs bis 2030 zu Gunsten des Öffentlichen Verkehrs sowie des Rad- und Fußverkehrs. Der bis 2030 prognostizierte Anstieg der Nachfrage im Güterverkehr kann gedämpft werden. Gleichzeitig kann eine deutliche Verlagerung auf die Bahn und auf Binnenschiffe erzielt werden.

Zu Endenergiebedarf und Treibhausgasemissionen

Der Endenergiebedarf in 2030 kann um 31 % gegenüber 2005 reduziert werden. Der Anteil fossiler Kraftstoffe sinkt deutlich und die Bedeutung erneuerbarer Energieträger nimmt zu. In 2030 können die Treibhausgasemissionen (inklusive der indirekten Emissionen) um mehr als 37 % (minus 84 Mio. t) gegenüber 2005 verringert werden, wenn alle Maßnahmen des Klimaschutzszenarios umgesetzt werden. Während im Personenverkehr die Treibhausgasemissionen um 44 % (minus 76 Mio. t) gegenüber 2005 gemindert werden können, kann im Güterverkehr trotz steigender Verkehrsleistung zwar eine Trendumkehr erreicht werden, die Treibhausgasemissionen sinken jedoch im gleichen Zeitraum um nur 17 % (minus 9 Mio. t).

Im Kontext der nationalen Klimaschutzberichterstattung bedeutet die dargestellte Entwicklung bezogen auf das Basisjahr 1990 einen Rückgang der direkten THG-Emissionen des Verkehrs um 18 % bis 2020 und um 39 % bis 2030.

Zu den ökonomischen Effekten

Die ökonomischen Analysen zeigen, dass ambitionierter Klimaschutz im Verkehr die Mobilitätsausgaben von Haushalten verringern kann. Der Pkw-Nutzung stehen höheren Investitionskosten bei der Neuanschaffung geringere Kilometerkosten in der Nutzungsphase gegenüber. Höhere Energiesteuern und die Ausweitung der Lkw-Maut tragen maßgeblich zur Erhöhung der Staatseinnahmen bei. Ferner können Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr zusätzliche Wachstumsimpulse auf die Volkswirtschaft auslösen.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Ausgangslage

Der Verkehrssektor muss heute zahlreichen Anforderungen gerecht werden – dem individuellen Bedürfnis nach Mobilität ebenso wie den Ansprüchen des Gütertransports, der untrennbar mit der fortschreitenden Globalisierung unseres Wirtschaftens verbunden ist. Zusätzlich müssen die negativen Umweltauswirkungen des Verkehrs deutlich reduziert werden, um unter anderem die langfristigen Klimaschutzziele, die sich Deutschland gesetzt hat, zu erreichen - und das unter schwierigen Voraussetzungen. Die Verkehrsnachfrage hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stetig erhöht: Seit 1960 ist die Verkehrsleistung im Personenverkehr um das Vierfache und im Güterverkehr um mehr als das Dreifache gestiegen (IFEU 2011). Insbesondere im motorisierten Individualverkehr gab es in diesem Zeitraum eine starke Erhöhung der Verkehrsleistung. Und auch für die Zukunft wird ein großer Zuwachs im Personen- und Güterverkehr prognostiziert.

Analog zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage ist auch der Energieverbrauch des innerdeutschen Verkehrs deutlich gestiegen: Zwischen 1960 und 2000 hat er sich mehr als verdreifacht, erst seit einigen Jahren ist ein leichter Rückgang zu verzeichnen (IFEU 2011). Ein ähnliches Bild ergibt sich mit Blick auf die Treibhausgasemissionen. Zwar konnte ihr kontinuierlicher Anstieg im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts umgekehrt werden, dennoch hat sich der Verkehr in den vergangenen zwei Jahrzehnten im Vergleich zu den anderen energieverbrauchenden Sektoren ungünstiger entwickelt. Heute gehen nahezu 30 % des Endenergiebedarfs und etwa 20 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland auf den Verkehr zurück. Über 90 % der eingesetzten Energie basiert weiterhin auf Erdöl.

Die besondere Herausforderung einer umwelt- und klimaverträglichen Gestaltung des Verkehrs wurde auf nationaler und internationaler Ebene erkannt. Die Bundesregierung hat sich im Rahmen des Energiekonzepts daher das Ziel gesetzt, den Energieverbrauch des Verkehrs bis 2020 um 10 % gegenüber 2005 zu verringern (Bundesregierung 2011). Ferner wird im Kontext der Energiewende das Handlungsfeld Mobilität als ein wichtiger Pfeiler der Gesamtstrategie zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Gewährleistung einer Energieversorgung durch überwiegend erneuerbare Energien bis 2050 diskutiert.

In ihrem Weißbuch Verkehr kommt auch die Europäische Kommission (EC 2011) zu dem Schluss, dass sich der Verkehr nicht wie bisher weiterentwickeln kann und ein nachhaltiger Verkehr in den kommenden Jahrzehnten einen Umbau unseres Verkehrssystems erforderlich macht. Die damit verbundenen tiefgreifenden Veränderungen können nur in Schritten umgesetzt werden. Die Europäische Kommission verweist daher auf die Notwendigkeit, rechtzeitig zu handeln. Gemäß der im Weißbuch Verkehr dokumentierten Ziele sollen bis 2020 die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union gegenüber dem Jahr 2008 um 20 % gesenkt werden – bis 2050 wird eine Minderung um insgesamt 70 % angestrebt.

Während auf nationaler und europäischer Ebene damit eine relativ klare Vorstellung über langfristige Ziele in Bezug auf einen umwelt- und klimaschonenderen Verkehr bestehen, sind die konkreten Wege und Maßnahmen, durch die diese Ziele erreicht werden können, bisher weniger klar. Angesichts der ambitionierten Ziele ist jedoch offensichtlich, dass für deutliche

Veränderungen im Verkehrssystem eine Anpassung der Rahmenbedingungen notwendig ist. Dabei gilt es, die möglichen Wechselwirkungen zwischen Einzelmaßnahmen zu berücksichtigen sowie das Spannungsfeld zwischen Mobilitätsbedürfnissen bzw. zunehmenden Wirtschaftsverflechtungen einerseits und einer nachhaltigen Gestaltung des Verkehrssystems andererseits auszuloten. Für eine nachhaltige Energie- und Verkehrspolitik ist es daher notwendig, mögliche Maßnahmen zur Erreichung der formulierten Langfristziele zu bewerten und besonders effektive Maßnahmen zu identifizieren.

Im Projekt Renewbility wurde ein Modellverbund entwickelt, der es ermöglicht, im Rahmen von Szenariobetrachtungen die Wirkung von Maßnahmen und veränderten Rahmenbedingungen auf den Verkehr, dessen Treibhausgasemissionen und volkswirtschaftlichen Effekte bis 2030 zu quantifizieren. Mit Blick auf einen langfristig umwelt- und klimaschonenden Verkehr sollen die Projektergebnisse einen Beitrag zur Diskussion über die notwendigen Schritte für eine nachhaltige Energie- und Verkehrspolitik liefern.

1.2 Renewbility II: Das Forschungsprojekt

Das Forschungsprojekt Renewbility II ist eine Weiterentwicklung des Verbundvorhabens „Renewbility – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“ (Renewbility I). In diesem Vorgängervorhaben (Öko-Institut, DLR-IVF 2009) wurde im Zeitraum von 2005 bis 2009 ein integratives Analyseinstrumentarium entwickelt, das Maßnahmen und Wirkungen einer zukünftigen nachhaltigen Verkehrspolitik abbildet und auf Grundlage unterschiedlicher Entwicklungen den möglichen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs quantifiziert.

1.2.1 Die Ziele

Wesentliche Komponenten des integrativen Modellierungsansatzes sind:

- die gekoppelte, dynamische Betrachtung von Mobilitätsangebot und -nachfrage,
- die Modellierung des Mobilitätsverhaltens im Personenverkehr auf Mikroebene für repräsentative Regionen,
- die Modellierung der multimodalen Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr für den Betrachtungsraum Deutschland,
- die Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrs- und Energiesektor im Hinblick auf die Förderung erneuerbarer Energien,
- die enge Kooperation mit gesellschaftlichen Akteuren bei der Modell- und Szenarioentwicklung.

Analysiert wurden der innerdeutsche Straßen-, Schienen- und Binnenschiffsverkehr. Berücksichtigt wurde dabei auch der Transitverkehr. Der innerdeutsche Luftverkehr wurde in den Szenarien zwar mitgeführt, jedoch nicht explizit mit Maßnahmen zur Treibhausgasminderung belegt. Der außerdeutsche Luftverkehr sowie die Seeschifffahrt waren nicht Gegenstand der Betrachtung. Hervorzuheben ist: Im Gegensatz zur nationalen und internationalen Klimaberichterstattung wurden schon bei der Emissionsbilanzierung im Rahmen von Renewbility I nicht nur die direkten Treibhausgasemissionen der Verkehrsmittel und Energieträger berücksichtigt, sondern auch jene Emissionen (Vorketten-Emissionen), die bei der Herstellung der Kraftstoffe im In- und Ausland sowie bei der Fahrzeugproduktion entstehen.

1.2.2 Die Neuerungen

Aufbauend auf den für Renewbility I entwickelten Analyseinstrumenten sowie in Anknüpfung an die Bilanzierungsmethodik wurde im Zeitraum von 2010 bis 2012 das Folgevorhaben Renewbility II durchgeführt. Ein wesentliches Ziel dieses vom Umweltbundesamt sowie vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsvorhabens war es, mögliche Entwicklungen aufzuzeigen, durch die ein im Vergleich zu Renewbility I weitergehender Klimaschutzbeitrag des Verkehrs erreicht werden kann. Zusätzlich sollten in der Analyse nachhaltiger Mobilitätsstrategien auch volkswirtschaftliche Effekte berücksichtigt werden.

Die wesentlichen Neuerungen von Renewbility II sind:

- die Integration des ökonomischen Modells ASTRA in den Modellverbund, die Anpassung des europäischen Modells auf eine deutsche Version ASTRA-D sowie eine teilweise Neuentwicklung zur Darstellung von volkswirtschaftlichen Effekten einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie,
- die Weiterentwicklung der Verkehrsnachfragemodellierung,
- die Anpassung der Basisentwicklung bis 2030 an aktualisierte sozio-ökonomische Rahmendaten und Prognosen,⁷
- die Aktualisierung der Fahrzeugtechnologiedatenbank,
- die Entwicklung eines über Renewbility I hinausgehenden Klimaschutzszenarios im Rahmen der etablierten Stakeholder-Beteiligung.

Die Mitglieder des Forschungsteams für Renewbility II werden gestellt durch das Öko-Institut (Projektleitung), das Institut für Verkehrsforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR-IVF) sowie das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer-ISI).

1.2.3 Szenarioprozess und Szenariogruppe – Partizipation gesellschaftlicher Akteure

Ein zentrales Element bei Renewbility ist die Formulierung und Analyse von Szenarien. Die Szenariotechnik stellt eine wissenschaftlich etablierte und ausdifferenzierte Methode dar, um mögliche Entwicklungspfade zu untersuchen. Bei der Ausgestaltung der Renewbility-Szenarien stand die Einbeziehung von Stakeholdern im Vordergrund. Dies ermöglichte eine hohe Transparenz und gesellschaftliche Beteiligung sowie die gemeinsame Beurteilung der Wirkung von definierten Maßnahmen und Annahmen und die Schaffung einer größtmöglichen Akzeptanz für das Analyseinstrumentarium, die Modellierungen und letztlich die Ergebnisse. Die Einbeziehung unterschiedlicher Akteure schuf zudem die Basis für einen Dialog über die Realisierbarkeit technischer und nicht-technischer Maßnahmen für mehr Klimaschutz und für steigende Anteile von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor.

In Fortführung des Szenarioprozesses aus dem Vorgängervorhaben wurden auch in Renewbility II Vertreter der Automobil-, Bahn-, Energie- und Logistikbranche sowie von Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden in den Prozess der Modellweiterentwicklung und die Szenarioausgestaltung eingebunden. Während der zweijährigen Laufzeit wurden mehrere ganztägige Workshops durchgeführt. Die Mehrheit der beteiligten Stakeholder aus Renewbility I konnte auch für das Folgevorhaben gewonnen werden, wodurch Kontinuität bei

der Vorhabenbegleitung sichergestellt war. Darüber hinaus haben sich in Renewbility II auch neue gesellschaftliche Akteure am Szenarioprozess beteiligt¹.

Die Aufgabe der sogenannten Szenariogruppe aus den genannten Stakeholdern war es, neben einem aktualisierten Basisszenario ein weiteres Klimaschutzszenario zu entwickeln. Dies sollte unter der Maßgabe erfolgen, eine über das Klimaschutzszenario aus Renewbility I hinausgehende Treibhausgasminderung im Verkehr bis 2030 zu erzielen. Im Laufe des Szenarioprozesses wurden Maßnahmenvorschläge der Teilnehmer zunächst hinsichtlich ihrer Einzelwirkung untersucht. Im Laufe von fünf Arbeitstreffen konzipierten die Stakeholder schließlich ein Klimaschutzszenario für den Verkehr bis 2030. Dieses kombiniert angebots- und nachfrageseitige Maßnahmen, die in ihrer Bandbreite und Ausgestaltung über das Klimaschutzszenario von Renewbility I hinausgehen.

1.3 Aufbau des Endberichts

Der Endbericht des Forschungsvorhabens Renewbility II dokumentiert das methodische Vorgehen bei der Entwicklung der Technologiedatenbasis und Modellentwicklung, diskutiert den Prozess der Szenarioentwicklung und stellt die Ergebnisse der Szenariobetrachtungen im jeweiligen Kontext dar.

Da das methodische Vorgehen – insbesondere hinsichtlich der Modellentwicklung und Datenbankstruktur – in Renewbility II auf den Arbeiten des Vorgängerprojekts Renewbility I aufbaut, wird an mehreren Stellen auf den Endbericht von Renewbility I (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1) verwiesen,. Dieser beinhaltet eine ausführliche Diskussion des methodischen Vorgehens.

Der Endbericht zum Forschungsvorhaben Renewbility II ist wie folgt gegliedert:

- In **Kapitel 2** wird der Renewbility-Modellverbund entlang der einzelnen Modellteile und mit einem besonderen Augenmerk in Bezug auf die Neuerungen in Renewbility II vorgestellt.
- **Kapitel 3** diskutiert die Ausgestaltung von Basis- und Klimaschutzszenario und präsentiert die Ergebnisse in Bezug auf Verkehrsnachfrage, Endenergiebedarf und Treibhausgasemissionen sowie den resultierenden volkswirtschaftlichen Effekten im Vergleich der Szenarien.
- Die wesentlichen Schlussfolgerungen aus der Szenariobetrachtung werden in **Kapitel 4** zusammengefasst und weiterführende Forschungsfragen formuliert.
- Die Literaturnachweise zu den einzelnen Kapiteln des Endberichts sind in **Kapitel 5** aufgeführt.

¹ Die Szenario-Gruppe setzte sich aus Vertretern der folgenden Institutionen zusammen:

ADAC e.V., BP Europa, Dachser GmbH & Co. KG, Deutsche Bahn, Deutsche Post DHL, E.ON AG, Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU), Shell Deutschland, Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie, Verband der Automobilindustrie (VDA), Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD).

2 Das Modell

2.1 Überblick über die Modellkomponenten

Die fundierte Betrachtung von Szenarien für einen nachhaltigen und klimaschonenden Verkehr bis zum Jahr 2030 erfordert ein Analyseinstrumentarium, welches die Wirkung von Maßnahmen und veränderten Rahmenbedingungen auf den Verkehrssektor quantifiziert.

Der Renewbility-Modellverbund (Abbildung 1) wurde über die Vorhabenlaufzeit kontinuierlich weiterentwickelt und setzt sich aus fünf Hauptmodulen zusammen: der Technologiedatenbasis, dem Fahrzeugbestandsmodul, der Verkehrsnachfragemodellierung, der Stoffstromanalyse sowie dem ökonomischen Modell. Diese stehen über zahlreiche Schnittstellen miteinander in Beziehung und bilden jeweils zentrale Dimensionen des Verkehrs modellhaft ab. Der Modellverbund ermöglicht es, Maßnahmenbündel integriert und unter Berücksichtigung möglicher Wechselwirkungen zu betrachten und Wirkungen auf die Entwicklung des Fahrzeugbestands und der Verkehrsnachfrage sowie die Veränderung des Energiebedarfs und der Emissionssituation des Verkehrs zu quantifizieren. Durch die Integration des ökonomischen Modells ASTRA-D können außerdem Aussagen zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr getroffen werden, die Rückwirkung einer veränderten Wirtschaftsentwicklung auf die Verkehrsnachfrage kann abgebildet werden.

Die **Technologiedatenbasis** enthält Daten zu den Antriebstechnologien aller relevanten Verkehrsmittel sowie zur Bereitstellung der Kraftstoffe, wobei systematisch auch alternative Antriebs- und Kraftstofftechnologien berücksichtigt wurden. Die Daten wurden im Stoffstrom-Werkzeug GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, www.gemis.de) gespeichert. GEMIS ist ein so genanntes Prozesskettenmodell, das die Bilanzierung von kompletten Produktlebenszyklen erlaubt.

Die Technologiedatenbasis bildet die Grundlage für die Modellierung des **Fahrzeugbestands** bis 2030. Das Bestandsmodell modelliert für den Betrachtungszeitraum die Entwicklung des Fahrzeugbestands für alle Verkehrsmittel und berücksichtigt sowohl die jährlichen Neuzulassungen als auch die Fahrzeuge, die abgemeldet werden und damit aus dem Bestand ausscheiden.² Die Fahrzeuge im Bestand werden differenziert nach Antriebsart, eingesetztem Kraftstoff und Größenklasse betrachtet und sind mit unterschiedlichen Effizienzvarianten aus der Technologiedatenbank verknüpft.

Der für das jeweilige Szenario ermittelte Fahrzeugbestand stellt in Bezug auf den spezifischen Energiebedarf und die damit verbundenen Kilometerkosten des jeweiligen Fahrzeugtyps im Bestand eine maßgebliche Eingangsgröße für die Modellierung der Verkehrsnachfrage dar.

Die in Renewbility II eingesetzten Verkehrsmodelle ermöglichen es, die Wirkung von Maßnahmen und veränderten Rahmenbedingungen auf die **Verkehrsnachfrage** im Personen- und Güterverkehr auf Mikro- und Makroebene zu quantifizieren. In Renewbility II wurde als zusätzlicher Modellschritt gegenüber Renewbility I eine Rückkopplung der Verkehrsmodelle für den Personen- und Güterverkehr mit dem ökonomischen Modell ASTRA-D vorgenommen. So

² Die Bestandsmodellierung erfolgt in Renewbility II für Straßenfahrzeuge auf Fahrzeugebene, für alle anderen Verkehrsmittel aggregiert auf Systemebene.

konnten Veränderungen von wichtigen ökonomischen Kenngrößen mit der Modellierung der Verkehrsnachfrage verbunden werden.

Das Projekt Renewbility nutzt das Konzept der **Stoffstromanalyse**, um die Effekte auf Energiebedarf und Emissionen des Verkehrssektors für unterschiedliche Szenarien zu quantifizieren. Die Analyse der Stoffströme erfolgt in Prozessketten, die beispielsweise den Lebensweg von Fahrzeugen und Kraftstoffen von der Nutzungsphase über die Produktion und Distribution bis hin zur Ressourcenentnahme zurückverfolgen.

Die Kombination der Ergebnisse aus der Bestandsmodellierung mit den Simulationen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Modul MOBIL-SZEN ermöglicht es, Aussagen zur Entwicklung des Endenergiebedarfs differenziert nach Energieträger und Verkehrsmittel zu treffen. Durch die Kopplung mit den zur Verfügung stehenden Bereitstellungspfaden der Kraftstoffe lassen sich anschließend Aussagen zur THG-Emissionsentwicklung im Verkehr für das jeweilige Szenario treffen.

In Renewbility II wurde der Modellverbund um das **ökonomische Modell** ASTRA-D ergänzt. Dieses ermöglicht eine gesamtwirtschaftliche Bewertung der Effekte, welche sich aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Maßnahmen im Szenario ergeben. Dazu gehören etwa Veränderungen im Konsumverhalten, ein verändertes Investitionsverhalten und damit zusammenhängend auch sektorale Verschiebungen der Nachfrage oder Veränderungen in der Handelsbilanz. Durch die Verwendung eines dynamischen Input-Output-Modells können auch die sektoralen Verflechtungen einer Volkswirtschaft und mittelbare Veränderungen wie Zweitrundeneffekte o.ä. simuliert werden.

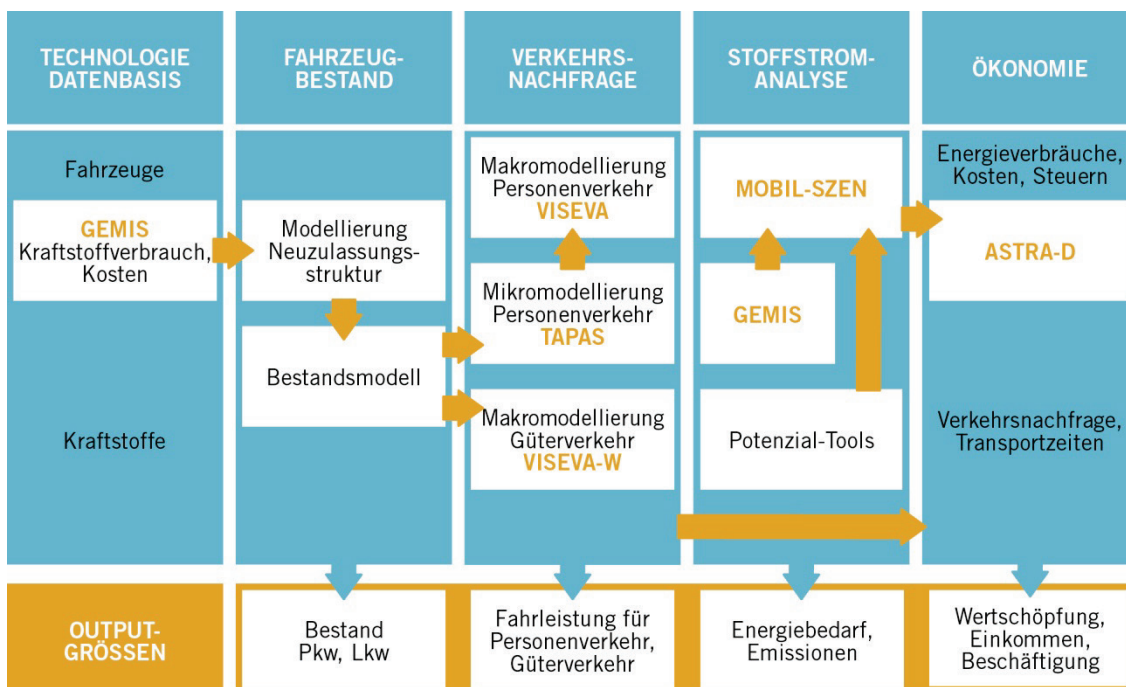


Abbildung 1: Der Renewbility-Modellverbund und die Interaktion der verschiedenen Module

Quelle: eigene Darstellung

2.2 Technologiedatenbasis

Die Renewbility-Technologiedatenbasis enthält Daten zu den Antriebstechnologien aller relevanten Verkehrsmittel sowie zur Bereitstellung der Kraftstoffe, wobei systematisch auch alternative Antriebs- und Kraftstofftechnologien berücksichtigt wurden. Im Rahmen von Renewbility wurde eine umfassende Technologiedatenbasis für alle relevanten Verkehrsträger – Straße, Schiene, Wasser, Luft – und Antriebstechnologien jeweils für die Zeithorizonte 2010, 2020 und 2030 entwickelt. Dabei wurden für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge, neben einer Basisvariante, bis zu vier Effizienzvarianten definiert. Die wesentlichen Daten, die in die Technologiedatenbank aufgenommen wurden, sind Kraftstoffverbrauch, Schadstoffemissionen (basierend auf dem Modell TREMOD), Investitionskosten und die Materialzusammensetzung der Fahrzeuge. Der jeweils dokumentierte fahrzeugspezifische Energiebedarf stellt einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch unter Realbedingungen dar. Für Pkw liegt der Wert deutlich über dem im Normzyklus (NEFZ) ermittelten Kraftstoffverbrauch.

Im Rahmen von Renewbility II wurden die Fahrzeugtechnologiedaten an aktuelle Entwicklungen angepasst und insbesondere die Annahmen zur Entwicklung von Elektrofahrzeugen aktualisiert.

Zusätzlich wurde eine stoffstrombezogene Technologiedatenbasis für die Bereitstellung von fossilen Energieträgern und für Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien, insbesondere Biokraftstoffe, erstellt. Diese erfasst die Angebotsseite, also die Potenziale, Treibhausgasemissionen und Kosten für den Betrachtungszeitraum bis 2030.

Die Daten wurden im Stoffstrom-Werkzeug GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, www.gemis.de) gespeichert. GEMIS ist ein so genanntes Prozesskettenmodell, das die Bilanzierung von kompletten Produktlebenszyklen erlaubt. Es liefert Ergebnisse zu:

- den Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen,
- der Verfügbarkeit von Rohstoffen bzw. Reststoffen für die Biokraftstoff-Produktion,
- dem Ressourcenbedarf und der Flächeninanspruchnahme sowie
- den Kosten.

2.2.1 Fahrzeuge

Die umfassende Fahrzeugtechnologiedatenbasis wurde maßgeblich im Vorgängerprojekt Renewbility I entwickelt und kam in leicht modifizierter Form auch im Folgevorhaben Renewbility II zur Anwendung.

Die Technologiedatenbasis ist das Ergebnis einer umfassenden Literaturrecherche und zahlreicher Expertenkonsultationen im Laufe des Projekts. Den dargestellten Effizienzvarianten liegt eine Diskussion von Einzeltechnologien zu Grunde, die es ermöglicht, die zukünftige Effizienzsteigerung aller betrachteten Verkehrsmittel und Größenklassen unter Berücksichtigung der damit verbundenen Zusatzkosten sowie möglicher Veränderungen im Werkstoffeinsatz zu bewerten. Eine ausführliche Diskussion des grundsätzlichen methodischen Vorgehens, der verfügbaren Technologien und der daraus resultierenden Effizienzvarianten ist im ersten Teil des Endberichts zum Vorgängervorhaben Renewbility I (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1) dokumentiert.

Im Rahmen von Renewbility II wurde die Fahrzeugtechnologiedatenbasis im Bereich der Lastkraftwagen sowie der Pkw mit (teil-)elektrischem Antrieb angepasst.

Die Basisvariante, welche die Grundlage für die Effizienzentwicklung im Basisszenario darstellt, wurde an die Annahmen des Trendszenarios der aktuellen TREMOD-Version 5.2 (IFEU 2011) angepasst und eine entsprechend ambitioniertere Entwicklung auch in Renewbility II unterstellt.

Die Annahmen zur technologischen Entwicklung von batterieelektrischen Pkw und Plug-In-Hybridfahrzeugen unter Berücksichtigung von Reichweite, Energieverbrauch und Zusatzkosten für den Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2030 wurden ebenfalls in der Technologiedatenbasis aktualisiert. Hierfür wurden aktuelle Daten des Öko-Institut aus dem Projekt OPTUM verwendet. Die Technologieannahmen für elektrisch betriebene Pkw wurden im Projekt OPTUM im Rahmen von Expertenkonsultationen geprüft. Das methodische Vorgehen und die detaillierten Technologieannahmen für Pkw mit elektrischem Antrieb sind im OPTUM-Endbericht (Öko-Institut, ISOE 2011) ausführlich dokumentiert.

2.2.2 Energieträger- und Kraftstoffvorketten

Für die anschließende Stoffstromanalyse (vgl. Kapitel 2.5) ist neben den Fahrzeugdaten die Verfügbarkeit konsistenter Basisdaten zur Bereitstellung von Energieträgern (Brennstoffe, Strom, Wärme) und Kraftstoffen (Benzin, Diesel, Ethanol, Biodiesel usw.) eine notwendige Voraussetzung.

Diese Daten werden unter dem Begriff Vorketten zusammengefasst, d.h. sie betreffen die der eigentlichen Energieträgernutzung vorgelagerten Aktivitäten von der Förderung über Transporte sowie die weitere Verarbeitung bis zur Endenergiestufe frei Verbraucher, jedoch nicht deren Nutzung. Die Vorketten sind bei fossilen Energien eine vergleichsweise geringe Quelle von Umwelteffekten, jedoch sind sie für die Bioenergie entscheidend.

Systemgrenzen

Bei den fossilen und nuklearen Energieträgern umfasst die Systemgrenze der Lebenswegbilanzierung die Exploration von Lagerstätten (Bohrungen usw.), deren Betrieb zur Förderung (z.B. Bohrtürme, Bergbau), die Transporte der Primärenergieträger (Bahn, Pipelines, Schiffe/Tanker) und deren anschließende Konversion (z.B. Erdgasaufbereitung, Raffinerien, Urananreicherung, Brennelementherstellung) sowie Transporte der Sekundärenergieträger (Bahn, Lkw, Pipelines, Schiffe) bis zur Verbrauchsstelle. Der materielle Herstellungsaufwand für die wichtigsten Vorkettenprozesse ist dabei ebenfalls einbezogen.

Bei den regenerativen Energieträgern werden – mit Ausnahme der Biomasse – die Vorketten allein durch den stofflich-energetischen Herstellungsaufwand der Energiewandler abgebildet (Bau von z.B. Windkraftwerken, Herstellung von Solarzellen).

Bei biogenen Rest- und Abfallstoffen wird nur der Sammelaufwand (z.B. Stroh- oder Waldrestholzbergung, Transport getrennt gesammelter biogener Hausmüllanteile) sowie die nachfolgende Konversion (z.B. Biogasanlage, Pellet-, Hackschnitzel- oder BtL-Herstellung) und Transporte der Sekundärenergieträger einbezogen, d.h. das Entstehen der Rest- und Abfallstoffe liegt außerhalb der Systemgrenze .

Bei Bioenergie aus ein- und mehrjährigen Energiepflanzen wird dagegen der Anbau und die Ernte von Biomasse und auch Hilfsenergien (z.B. Diesel) und Einsatzstoffe (z.B. Dünger) berücksichtigt. Die Transporte der Rohstoffe sowie deren nachfolgende Konversion (z.B.

Biogasanlage, Hackschnitzel- oder BtL-Herstellung) und Transporte der Sekundärenergieträger sind ebenfalls einbezogen.

Ebenfalls relevant für die Bioenergie-Vorketten von Anbaubiomasse sind Landnutzungsänderungen (land use changes = LUC), die sowohl direkt (dLUC) wie auch indirekt (iLUC) auftreten und erhebliche – positive wie negative – Auswirkungen auf die THG-Bilanzen haben können (vgl. Fritsche, Wiegmann 2011; Fritsche 2012).

Der Umgang mit Koppel- und Nebenprodukten z.B. bei Kraft-Wärme-Kopplung, Raffinerien, Ölmühlen usw. ist eine wichtige Determinante bei der Lebenswegbilanzierung. Die EU-RED gibt definitive Bilanzierungsregeln für Biokraftstoffe vor, bei denen eine energiebezogene Allokation auf Basis von Heizwertäquivalenten erfolgt. Alle Energieträger-Vorketten in GEMIS sind auf Basis dieser Methodik bestimmt.

Datenbasis zu den Vorketten für fossile Energieträger und Kraftstoffe sowie für regenerative Energien im Bereich Mobilität

Die Datenbasis für die fossilen Energieträgervorketten beruht auf Arbeiten im Rahmen von Renewbility I (Öko-Institut, DLR-IVF 2009) sowie einer Aktualisierung bei den Erdgasvorketten aus einer neueren Studie (ÖKO, IINAS 2012).

Für alle aus dem Ausland bezogenen Energieträger wurden repräsentative Liefermixe (Anteil der Förderregionen) für die Jahre 2010-2030 angesetzt, die auf Daten des World Energy Outlook 2011 (IEA 2011) beruhen.

Für die EU wurden zur Entwicklung des Energieangebots in den EU-27-Staaten die Daten aus dem für die EU entwickelten PRIMES-Modell verwendet; die entsprechenden Daten finden sich in einer Studie für die Europäische Umwelt-Agentur (EEA 2012) sowie in den Ergebnissen des EU-Vorhabens Biomass Futures (IC et al. 2012).

Für die inländische Bereitstellung im Jahr 2010 wurden Daten aus AGEB (2011) verwendet und die Fortschreibung bis 2030 auf Basis der BMU-Leitstudie (DLR, IWES, IfNE 2012) angesetzt.

Diese typischen Bereitstellungsmixe für die inländische Verwendung der Energieträger wurden in Renewbility I in das Computermode GEMIS Version 4.7 (vgl. ÖKO 2011) implementiert, in Renewbility II wurde die aktualisierte Datenbasis von GEMIS 4.8 (IINAS, ÖKO 2012) verwendet. In dieser GEMIS-Version sind auch Daten für die Stromerzeugung nach der BMU-Leitstudie enthalten.

Die THG-Emissionsfaktoren aus GEMIS umfassen CO₂, CH₄ und N₂O sowie verschiedene F-Gase. Die daraus ermittelten CO₂-Äquivalente wurden nach IPCC (2007) für einen Zeithorizont von 100 Jahren bestimmt und umfassen die gesamten Vorketten zur Bereitstellung der Energieträger.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der wichtigsten fossilen Energievorketten inklusive der Vorketten von Fahrstrom für Elektromobilität in Renewbility II.

Tabelle 1: THG-Emissionen der Energievorketten (ohne Biokraftstoffe) in Renewbility II

Energieträger	THG-Emissionen als CO ₂ -Äq [g/MJ _{end}]		
	2010	2020	2030
Benzin (nur fossil, ohne Bio)	15,1	14,6	14,3
Diesel (nur fossil, ohne Bio)	11,0	10,5	10,3
Kerosin (nur fossil, ohne Bio)	11,0	10,5	10,3
Erdgas (CNG)	13,3	11,3	11,7
Bahnstrom	128,8	124,2	108,4
Fahrstrom SSU*	162,0	107,3	60,6
Elektromobilität**	15,8	18,5	22,6

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.83

Die Tabelle zeigt, dass bei den fossilen Kraftstoffen bis 2030 ein leichter Rückgang der THG-Emissionen erwartet wird, was vorwiegend auf die Reduktion von Fackelverlusten und diffusen CH₄-Freisetzungen sowie Erhöhungen der Raffinerie-Effizienz durch KWK und THG-ärmeren Strombezug zurückzuführen ist. Die Verschiebung hin zu verstärkter sekundärer Ölförderung sowie von der Nordsee zu russischer Förderung (für Erdgas und Erdöl), die tendenziell emissionserhöhend wirkt, kann durch die genannten Emissionsminderungen überkompensiert werden. Hier ist zu beachten, dass die THG-Bilanzen der Vorketten für die deutsche und EU-27-Bezugsentwicklung gilt, für die weder bei Erdöl noch bei Erdgas bis 2030 Anteile von unkonventioneller Förderung (Ölschiefer und -sände, Fracking) angenommen wurde. Die Gründe hierfür sind folgende:

- Einerseits gibt die EU-Richtlinie zur Kraftstoffqualität (Fuel Quality Directive = FQD) einen höheren Emissionsfaktor für unkonventionelles Erdöl („syncrude“) vor als für herkömmliche Rohöle, so dass es für europäische Raffineriebetreiber ökonomisch wenig attraktiv ist, emissionsintensive syncrudes einzusetzen - sie müssten die Mehremissionen durch andere Maßnahmen kompensieren.
- Andererseits liegt der Absatzmarkt für syncrude aus Kanada vor allem in den USA, und der nächstgrößere Produzent Australien hat einen hohen Eigenbedarf sowie attraktive regionale Absatzmärkte in Asien.

Bei Erdgas aus unkonventioneller Förderung wird entsprechend einer aktuellen Studie (ÖKO, IINAS 2012) angenommen, dass aus Umwelt- und Kostengründen keine nennenswerte Förderung in der EU stattfinden wird.

Für den Strom der Bahnen wurde der Kraftwerkspark der Bahn fortgeschrieben, wobei das DB-Ziel mit 30 % Erneuerbare Energien in 2020 berücksichtigt und dann bis 2030 konstant gehalten wurde. Beim Strom für die SSU, der dem deutschen Strommix gleicht, zeigen sich die in der BMU-Leitstudie angenommenen stark steigenden Anteile der erneuerbaren Energien (-35 % in 2020 und - 50 % in 2030), die zu einem deutlichen Rückgang der THG-Emissionen

³ Daten ohne Nutzung der Energieträger; SSU= Straßen-, S- und U-Bahnen

*= Werte für BASIS-Szenario, basierend auf BMU-Leitszenario;

**= Werte für Regenerativ-Mix

führen. Beim Strom für die Elektromobilität führt der leicht ansteigende Regelenergiebedarf, der durch Erdgas-GuD-Kraftwerke gedeckt wird, zu einem minimalen Anstieg der Emissionen, die aber weiterhin extrem gering sind.

Die Datengrundlage für die biogenen Kraftstoffvorketten wurden durch die Recherche des DBFZ in Renewbility I gelegt (siehe Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1, Anhang 5.3). Eine Aktualisierung erfolgte durch Daten aus dem EU-Projekt Biomass Futures (IC et al. 2012), der Studie der EEA (2012) sowie für die biogenen Auslandsprozesse durch Daten aus einer Studie für die GEF (IFEU, CI, OEKO 2012).

Die Vorketten-Daten für Renewbility II umfassen, bezogen auf das Basisjahr 2010, rund 30 verschiedene biogene Kraftstoffpfade, die über die Szenariozeitpunkte 2020 und 2030 auf über 100 Varianten ansteigen.

Die Renewbility II-Datenbasis in GEMIS 4.8 bietet folgende regenerative Energieträger, die für Mobilitätsanwendungen eingesetzt werden können:

- Biodiesel aus Raps (Deutschland), Soja (Argentinien/Brasilien) und Palmöl (Indonesien), jeweils als Pflanzenöl, Methylester und hydrogenierter Biodiesel (1. Generation = 1G)
- Bioethanol aus Weizen und Zuckerrüben (Deutschland) sowie Zuckerrohr (Brasilien)
- lignozellulotisches Ethanol (2. Generation = EtOH-2G) aus Stroh (Deutschland) sowie Bagasse und Zuckerrohr (Brasilien)
- synthetischer Biodiesel (2. Generation als biomass-to-liquid = BtL) aus Waldrest- und Schwachholz, Reststroh sowie aus Kurzumtriebsplantagen (KUP), jeweils aus Deutschland und Osteuropa.

Mit den in GEMIS 4.8 implementierten Vorketten wurden die THG-Emissionen der biogenen Kraftstoffvorketten bestimmt und hierbei wie die energiebezogene Allokation für Neben- und Koppelprodukte nach der RED verwendet.

Die Ergebnisse der Arbeiten zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 2: THG-Emissionen für die Bereitstellung von biogenen Kraftstoffen (Vorketten) in Renewbility II

Option	THG-Emissionen als CO ₂ -Äq [g/MJ _{end}]		
	2010	2020	2030
EtOH-Weizen	50,0	42,1	-
EtOH-Zuckerrübe	29,2	24,9	21,2
EtOH-2G Stroh	-	8,6	7,7
EtOH-BR	32,8	28,0	25,6
EtOH-BR-sustain	-	-6,9	-6,4
EtOH-2G BR	-	-	13,8
EtOH-2G BR-sustain	-	-	-3,9
Rapsöl	50,1	40,6	-
AME	6,8	6,8	6,8

Option	THG-Emissionen als CO ₂ -Äq [g/MJ _{end}]		
	2010	2020	2030
RME	55,9	45,2	-
PME	60,6	26,8	24,4
PME-sustain	-	-63,0	-63,6
SME	20,5	18,8	-
SME-sustain	-	19,5	-
BtL-Wald	-	4,9	3,2
BtL-KUP	-	6,8	5,5
BtL-Wald-CEE	-	-	7,2

Quelle: GEMIS 4.8⁴

Bei den THG-Emissionen ist zu beachten, dass hier Effekte von direkten und indirekten Landnutzungsänderungen einbezogen wurden. Die ILUC-bedingten Emissionen sind jedoch mit Null angenommen, da der innereuropäische Anbau auf „freigesetzten“ Ackerflächen nach EEA (2012) angenommen wurde, bei denen einjährige Energiepflanzen keine direkten Landnutzungsunterschiede in Bezug auf Kohlenstoff bewirken, und mehrjährige Kulturen sogar zur Erhöhung des Kohlenstoffs im Boden führen.

Da der Anbau auf „freigesetzten“ Flächen erfolgt, stehen diese nicht in Konkurrenz zu Futter- und Nahrungsmittelproduktion und ihre Nutzung bewirkt keine indirekten Effekte durch die Verdrängung der Vornutzung (siehe Fritsche, Wiegmann [2011]; Fritsche [2012]).

Die „sustain“-Optionen für Ethanol (EtOH) aus Brasilien, Palmöl-Methylester (PME) aus Indonesien und Sojaöl-Methylester aus Argentinien (SME) bilden Fälle ab, in denen der Anbau gezielt auf degradierten Flächen erfolgt und durch damit bedingte geringere Erträge und höhere Ausgaben für die Beschäftigung lokaler Bevölkerung sowie entsprechender Sozialleistungen insgesamt höhere Gestehungskosten, aber auch geringere THG-Emissionen, entstehen.

Die Mehrzahl der Biokraftstoffe weist auch 2030 noch (leicht) höhere Kosten als die der fossilen Konkurrenten auf, jedoch sind die THG-Einsparungen unter den angesetzten Bedingungen (Einhaltung EU-Nachhaltigkeitsstandards) durchaus beachtlich.

2.3 Modellierung des Fahrzeugbestands

Die Modellierung des Fahrzeugbestands in Renewbility II setzt auf dem methodischen Vorgehen im Vorgängerprojekt auf (vgl. Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1). Die Entwicklung des Fahrzeugbestands – insbesondere in Hinblick auf die Effizienz und den Antriebstyp – wird maßgeblich durch die Maßnahmenausgestaltung im jeweiligen Szenario beeinflusst. Die Modellierung des Fahrzeugbestands erfolgt für Pkw, Lkw und sonstige Verkehrsmittel in unterschiedlichem Detaillierungsgrad.

⁴ RM = Rapsöl-Methylester; PME = Palmöl-Methylester; BtL = biomass-to-liquid (Fischer-Tropsch-Diesel); CEE = Central/Eastern Europe; KUP = Kurzumtriebsplantage; ZR = Zuckerrohr; BR = Brasilien; Daten ohne Nutzung

Der für das jeweilige Szenario modellierte Fahrzeugbestand stellt in Bezug auf den ermittelten spezifischen Energiebedarf und die damit verbundenen Kilometerkosten des jeweiligen Fahrzeugtyps eine maßgebliche Eingangsgröße für die Modellierung der Verkehrsnachfrage dar. Gleichzeitig bildet der spezifische Energiebedarf des Fahrzeugbestands die Grundlage für die anschließende Bilanzierung des Gesamtenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen im Rahmen der Stoffstromanalyse (Kapitel 2.5).

2.3.1 Pkw-Bestand

Der Bestand an Pkw wird differenziert nach Größenklasse und Antriebstyp modelliert. Die absolute Bestandsentwicklung orientiert sich an den jeweiligen Vorgaben im Szenario in Bezug auf Bevölkerungsentwicklung und Motorisierungsgrad. Die Struktur (Antriebstyp, Größenklasse, Kraftstoffverbrauch) des Ausgangsbestands an Pkw in Deutschland im Jahr 2005 beruht auf TREMOD. Für die Folgejahre werden Bestandsabgänge entsprechend der fahrzeugspezifischen TREMOD-Überlebenskurven simuliert. Die Differenz zwischen dem jeweiligen Altbestand eines Jahres und dem Zielwert für den Bestand definiert im Modell den Bedarf an Pkw-Neuzulassungen. Die Struktur der Pkw-Neuzulassungen wird im Pkw-Neuzulassungsmodell (siehe Kapitel 2.4) bestimmt. Durch Veränderungen in der Neuzulassungsstruktur – u.a. hinsichtlich der Verteilung von Größenklassen, Antriebstypen und Effizienzvarianten – kann sich somit über den Betrachtungszeitraum der Pkw-Bestand in seiner Struktur ebenfalls deutlich verändern.

2.3.2 Lkw-Bestand

Die Entwicklung des Lkw-Bestands orientiert sich ebenfalls an der Bestandsstruktur im Jahr 2005 gemäß TREMOD. Die Betrachtung differenziert zwischen fünf Größenklassen und mehreren Antriebstypen (vgl. Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1). Abgänge aus dem Bestand werden in Jahresschritten entsprechend der TREMOD-Überlebenskurven simuliert. Die Anzahl und Struktur der jährlichen Neuzulassungen werden differenziert nach Größenklasse unter Berücksichtigung verschiedener Antriebstypen und Effizienzvarianten im Lkw-Neuzulassungsmodell bestimmt (siehe Kapitel 2.4). Langfristig verändert sich somit – analog zum Pkw-Bestand – die Struktur des Lkw-Bestands hinsichtlich der Größenklassen, Antriebstypen und Fahrzeugeffizienz.

2.3.3 Bestand sonstige Verkehrsmittel

Sonstige Verkehrsmittel, wie Busse, Schienenfahrzeuge, Binnenschiffe und Flugzeuge, werden nur auf Systemebene betrachtet. Das bedeutet, dass der jeweilige Fahrzeugbestand nicht explizit modelliert wird. Stattdessen werden für den jeweiligen Fahrzeugbestand repräsentative Fahrzeuge definiert. Im Zeitverlauf wird die Nachrüstung von Fahrzeugen mit bspw. Effizienztechnologien, wie auch die veränderten Eigenschaften von neuzugelassenen Fahrzeugen, durch eine Anpassung des jeweiligen Durchschnittsfahrzeugs in der jeweiligen Fahrzeugkategorie im Bestandsmodell berücksichtigt.

2.4 Modellierung der Verkehrsnachfrage

2.4.1 Personenverkehr

Die Modellierung im Personenverkehr folgt methodisch der im Vorgängerprojekt etablierten Kombination von mikroskopischen und makroskopischen Modellen zur Berechnung der Verkehrsnachfrage. Als entscheidende Größen für die sich anschließende Ermittlung von Emissionen und Energieverbrauch (siehe Kapitel 2.5), sind im Personenverkehr die Verkehrs- und Fahrleistungen zu ermitteln, für die betrachteten Verkehrsträger, im zeitlichen Verlauf sowie für die entwickelten Szenarien.

Verkehrsnachfrage und Neuzulassungsstruktur

Im Projekt kam das am DLR Institut für Verkehrsforschung entwickelte mikroskopische Modell TAPAS (**T**Travel and **A**ctivity **P**Atterns **S**imulation) zum Einsatz, um die Verkehrsnachfrage detailliert für die regionalen Betrachtungsräume zu ermitteln. TAPAS wurde zur Bestimmung der Maßnahmenwirkungen eingesetzt, d.h. alle im Projekt Renewbility definierten verkehrspolitischen Maßnahmen wurden hinsichtlich ihrer verkehrlichen Wirkmächtigkeit, über die Simulation mit TAPAS analysiert. Aus den Ergebnissen von TAPAS lassen sich Verhaltensparameter ableiten, die die maßnahmenbedingten Veränderungen beschreiben (z.B. Änderungen der Mobilitätsraten und des Modal Split) und an das makroskopische Modell weitergegeben werden. Maßnahmen, die auf die Zusammensetzung der Neuzulassungen bzw. der Pkw-Flotte und somit auf die Kosten der Nutzung des Pkw wirken, wurden bei der Ermittlung der Personenverkehrsnachfrage mit Hilfe des Zusammenspiels von TAPAS mit den Neuzulassungsstrukturmodellen abgebildet (siehe Kapitel 2.3).

Zur deutschlandweiten Wirkungsabschätzung der verkehrspolitischen Maßnahmen wurde dann auf die makroskopische Modellkombination VISEVA/VISUM zurückgegriffen, um die Gesamtverkehrsleistung zu berechnen. Ausführlichere Erläuterungen zu den genutzten Modellen sowie der Modellkopplung zur Ermittlung der deutschlandweiten Verkehrsleistungen finden sich im Endbericht zum Vorgängerprojekt (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1). Eine graphische Übersicht der eingesetzten Modelle sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr gibt Abbildung 2.



Abbildung 2: Zusammenspiel der Modelle der Fahrzeugneuzulassungen sowie der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr

Quelle: eigene Darstellung

Für die Berechnungen in Renewbility II wurden wesentliche Datengrundlagen sowohl des mikroskopischen als auch des makroskopischen Modells aktualisiert. In der Basisentwicklung erfolgte eine Anpassung der Bevölkerungsfortschreibung – und damit eine Aktualisierung der Bevölkerungsgruppen im Modell – bis 2030 (von 81,0 auf 79,0 Millionen Personen in 2030) sowie der Erwerbstätigenzahlen (siehe Kapitel 2.6.3 zur Schnittstelle zwischen ASTRA-D und den Verkehrsmodellen). Gleichzeitig wurden in das Makromodell die neuen Erkenntnisse aus der Studie „Mobilität in Deutschland – MiD 2008“ integriert (Aufkommensraten nach Personengruppen und Wegezwecken, Pkw-Verfügbarkeit, Modal Split-Anteile). Darüber hinaus wurden für die Berechnung der Basisentwicklung im Mikromodell für die Regionen angepasste Mobilitätskosten berücksichtigt (aufgrund der Entwicklung von Technologien und Kraftstoffkosten) sowie das Modell unter Nutzung der Verhaltensdaten der MiD 2008 neu kalibriert. Eine weitere Entwicklung der Modelle betrifft die Schnittstelle mit dem ökonomischen Modell ASTRA-D. Für den Personenverkehr wurde als Eingangsgröße die Entwicklung der Bevölkerung sowie die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von ASTRA-D übernommen.

2.4.2 Güterverkehr

Der Güterverkehr wurde mit dem bereits im Vorgängerprojekt Renewbility I entwickelten Instrumentarium modelliert. Bestehend aus der Verknüpfung mehrerer Einzelmodelle zu

einem Modell wurden die einzelnen Bausteine des Modells in Renewbility II teilweise weiterentwickelt. Die Neuerungen werden nachfolgend kurz beschrieben.

Verkehrsnachfrage und Neuzulassungsstruktur

Die Berechnungen der Neuzulassungen im Nutzfahrzeugbereich beruhen auf dem in Renewbility I entwickelten Neuzulassungsmodell und sind dort ausführlich beschrieben (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1). Ausgehend von der Entwicklung der Lkw-Neuzulassungen mit Hilfe eines vergleichenden Wirtschaftlichkeitsmodells wurde der Fahrzeugbestand modelliert, der über die Kenngröße Flottenverbrauch die Transportkosten im Straßengüterverkehr beeinflusst.

Aufbauend auf einer Elastizitätsfunktion der Transportkosten erfolgte die Bestimmung des Modal Splits für die Gütertonnage der Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschiff. Aus der Transportmenge wurde die Anzahl der Fahrten bestimmt und die Zielwahl der Fahrten des Straßengüterverkehrs mit der Software VISEVA-W berechnet. In parallelen Modelldurchläufen wurden fünf unterschiedliche Fahrzeugtypen (Lkw unter 3,5 t zGG; 3,5 bis unter 7,5 t zGG; 7,5 bis 12 t zGG; Lkw größer 12 t zGG, Sattelzugmaschinen) und 17 Branchen (unterschieden nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige) betrachtet. Differenzierte Fahrtenmatrizen ermöglichten, Fahrleistungen für die Ladungs- und Leerfahrten des Straßengüterverkehrs zu berechnen. Diese Vorgehensweise berücksichtigt die beobachtbaren Unterschiede beim spezifischen Verkehrsverhalten der Fahrzeugnutzer in der Modellanwendung. Für die Bestimmung der Fahr- und Verkehrsleistung von Binnenschifffahrt und Schienenverkehr wurden eigene Modelle entwickelt und für die Berechnungen eingesetzt. Methodische Details hierzu sind im Endbericht zum Vorgängerprojekt (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1) beschrieben. Das Modell zur Bestimmung der Fahrten und der Fahrleistung für die Binnenschifffahrt wurde in Renewbility II erweitert, so dass es die Entwicklung der Fahrleistung verschiedener Klassen von Schiffstypen berücksichtigte und nicht nur eine Durchschnittsgröße wie in Renewbility I. Hierzu wurden neuere Studien (PLANCO 2007, EcoTransIT World 2010) ausgewertet und die gewonnenen Daten im Modell implementiert.

Die Modellierung des Güterverkehrs wurde im Projekt Renewbility II dahingehend weiterentwickelt, dass wichtige Eingangsgrößen des Modells mit dem ökonomischen Modell ASTRA-D rückgekoppelt wurden. Dies betrifft die Tonnage in Abhängigkeit der BIP-Entwicklung, die Bevölkerung und die sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in Deutschland. Diese drei Übergabegrößen wurden als variable Schnittstelle zwischen dem Modell ASTRA-D und den Verkehrsmodellen implementiert. Die Übergabe erfolgte jeweils für das Basis- und das Klimaschutzszenario.

Die Datenübergabe im Detail beinhaltete das Güterverkehrsaufkommen differenziert nach den Verkehrsarten Binnenverkehr, Import-, Export- sowie Transitverkehr auf einem auf Deutschland aggregierten Niveau. Das Güterverkehrsaufkommen – die zu transportierende Tonnage – bildete die Eingangsgröße im Güterverkehrsmodell. Sie wurde unter Berücksichtigung der Anzahl der Beschäftigten pro Branchen auf die Branchen aufgeteilt (siehe dazu Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1). Die Entwicklung der Bevölkerung und der Beschäftigten in Deutschland erfolgten durch das Modell ASTRA-D, das sich auf das räumliche Niveau NUTS 2 (EUROSTAT 2012) mit 39 Zellen in Deutschland bezieht. Da die Verkehrsmodelle für Deutschland mit 439 Zellen auf dem räumlich feiner aufgelösten Niveau NUTS 3 (KGS 5) rechnen, wurden an der

Schnittstelle die Bevölkerungs- und Beschäftigtendaten auf die 439 Verkehrszellen disaggregiert. Die Entwicklungen von Bevölkerung und Beschäftigten einer NUTS 2-Zelle wurden hierfür auf alle darin eingeschlossenen KGS 5-Zellen übertragen. Dieses Vorgehen beruhte auf der vereinfachenden Annahme, dass sich die Änderungen einer Strukturgröße auf NUTS 2-Niveau auf alle Strukturgrößen in den zugehörigen KGS 5-Zellen gleichermaßen auswirkte (siehe Abbildung 3).

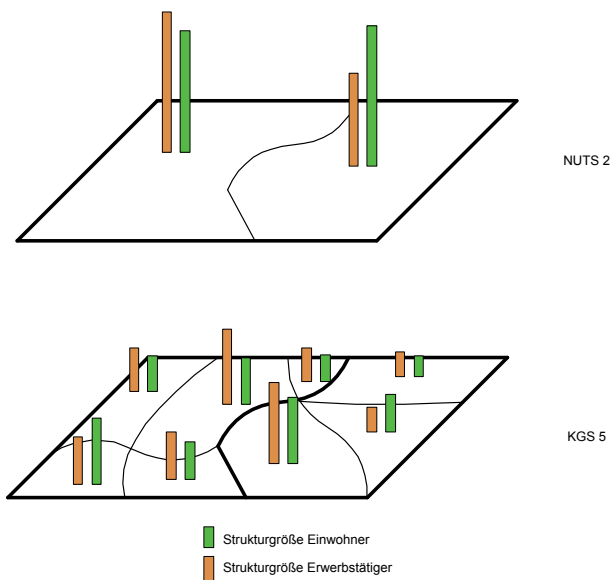


Abbildung 3: Strukturgrößen von NUTS 2 und NUTS 3 (KGS 5)

Quelle: eigene Darstellung

2.5 Stoffstromanalyse

Die Stoffstromanalyse ermöglicht es, die Effekte eines veränderten Fahrzeugbestands, Veränderungen in der Verkehrsnachfrage sowie bei der Bereitstellung von Kraftstoffen hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den Endenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors für unterschiedliche Szenarien zu quantifizieren. Im Rahmen der Betrachtungen in Renewbility II werden neben dem direkten Energiebedarf der Fahrzeuge im Betrieb auch die mit der Fahrzeugproduktion und der Extraktion, Aufbereitung und der Distribution der eingesetzten Kraftstoffe verbundenen Energieaufwendungen sowie die damit assoziierten Emissionen quantifiziert.

Die Analyse der Stoffströme erfolgt in Prozessketten, die beispielsweise den Lebensweg von Fahrzeugen und Kraftstoffen von der Nutzungsphase über die Produktion und Distribution bis hin zur Ressourcenentnahme zurückverfolgen. Diese Analyse stellt sicher, dass stets sowohl die Nachfrageseite (also der Bedarf an Mobilität) als auch die Angebotsseite (Bereitstellungs- und Produktionsprozesse von Fahrzeugen, Strom und Kraftstoffen) in ihren Wechselwirkungen erfasst werden. Außerdem können auf diese Weise Fragen zur Ressourcengewinnung und Ressourcennutzung integriert werden; auch Effekte beispielsweise durch Rohstoff- oder Energieimporte sind abbildbar.

Während die realen Energie- und Stoffströme ausgehend von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Kraftstoffbereitstellung beim Verbraucher fließen, beginnt die Modellierung in Renewbility beim Mobilitätsbedarf, also am Ende der Kette. Die sich ergebenden Kraftstoff- und Stromverbräuche werden für den Güter- und Personenverkehr getrennt betrachtet. In die Stoffstromanalyse fließen Transporte wie etwa die Distribution von Kraftstoffen im Tankstellennetz, Umwandlungsprozesse (beispielsweise in Raffinerien) sowie die Gewinnung der Rohstoffe ein. Beim Erdöl wird im Wesentlichen die Förderung berücksichtigt, bei Biokraftstoffen etwa der Anbau der Biomasse im In- und Ausland.

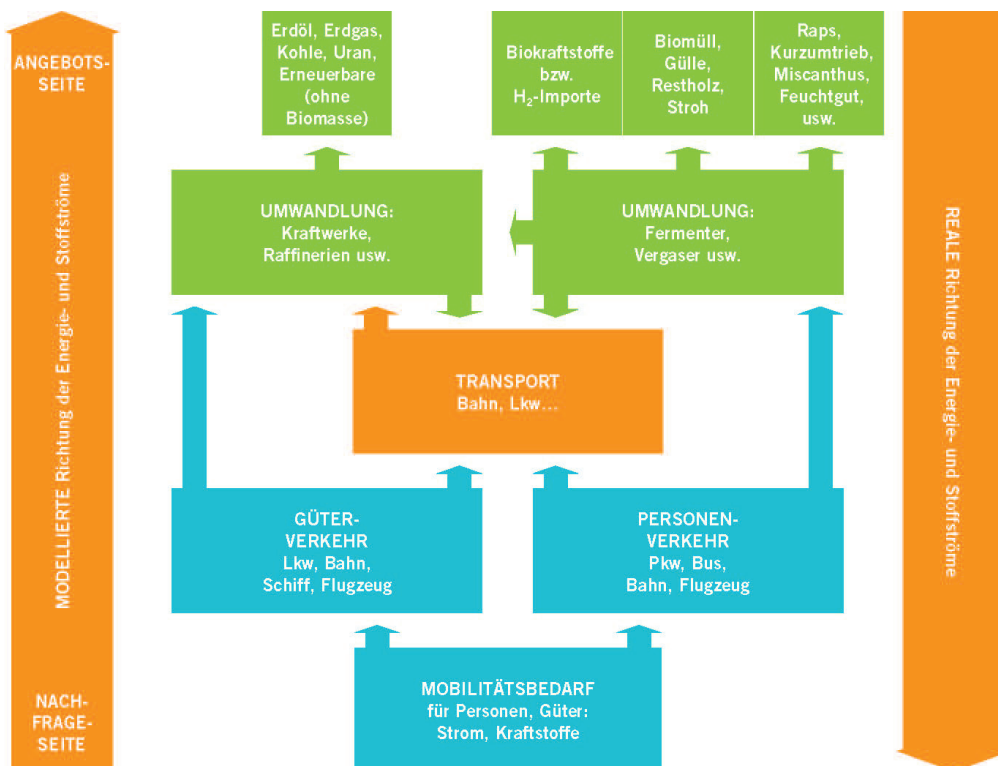


Abbildung 4: Energie- und Stoffströme. Die wesentlichen Prozessketten der Stoffstromanalyse

Quelle: eigene Darstellung

Die Kombination der Ergebnisse aus der Bestandsmodellierung (Kapitel 2.3) mit den Simulationen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage (Kapitel 2.4) im Modul MOBIL-SZEN ermöglicht es schließlich, Aussagen zur Entwicklung des Endenergiebedarfs differenziert nach Energieträger und Verkehrsmittel zu treffen. Durch die Kopplung mit den zur Verfügung stehenden Bereitstellungspfaden der Kraftstoffe (Kapitel 2.2.2) lassen sich anschließend Aussagen zur THG-Emissionsentwicklung im Verkehr für das jeweilige Szenario treffen.

2.6 Ökonomische Modellierung

2.6.1 Projektgeschichte des ASTRA-Modells

Das ASTRA-Modell⁵ wurde ursprünglich 1997 bis 2000 im Rahmen des EU-Projektes ASTRA (Assessment of Transport Strategies) im 4. Forschungsrahmenprogramm der europäischen Kommission für die strategische Bewertung der europäischen Verkehrspolitik entwickelt und schrittweise auf 29 europäische Länder ausgeweitet. Beteiligt waren das Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) Karlsruhe und TRT Transporti e Territorio Mailand; die Koordination erfolgte zunächst durch Prof. Dr. Werner Rothengatter und später durch Dr. Wolfgang Schade. Seit 2005 wurde das Modell in zahlreichen Projekten des Fraunhofer ISI weiterentwickelt. Es ist ausgelegt auf Analysen über einen längerfristigen Zeithorizont von 20 bis 50 Jahren und ermöglicht eine integrierte Analyse der Wechselwirkungen zwischen Verkehrs-, Umwelt- sowie Wirtschaftssystemen.

Verwendung hat das ASTRA-Modell u.a. in den folgenden Projekten gefunden: Entwicklung der Lissabon-Strategie, Abschätzung der Beschäftigungswirkung von Technologiepolitiken und von Politiken zur Förderung erneuerbarer Energien, Bewertung der transeuropäischen Verkehrsnetze, Verkehrsbepreisungspolitiken und Szenarien zur Einführung neuer Technologien und Kraftstoffe im Verkehrssystem, Abschätzung der ökonomischen Wirkungen hoher Ölpreise auf die EU und Bewertung von Klimaschutzstrategien im Verkehr. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Schade (2005) sowie Krail et al. (2007).

Eine europäische Version von ASTRA wurde innerhalb des Forschungsprojektes IEKP-Makro (FKZ 205 46 434) eingesetzt. Dieses Projekt untersuchte die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr. Diese Anwendung von ASTRA ist Teil einer Projektfamilie von ASTRA-Modellierungen und Anwendungen. Zu dieser Familie gehören die Projekte Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes (IEKP-Mikro, ISI et al. 2008), Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland (KlimInvest, Jochem et al. 2008) und Politiksznarien für den Klimaschutz IV (PSz-IV, ÖI et al. 2008) bzw. die Nachfolgestudien Politiksznarien V und VI des Umweltbundesamtes. Auch in diesen Projekten wurde bzw. wird auf die Modellierung Deutschlands in der europäischen Version von ASTRA zurückgegriffen.

ASTRA ist ein Multi-Paradigmen-Simulationsmodell, in welchem System Dynamics strukturgebend fungiert. Elemente keynesianischer Theorie des Investitionsverhaltens sind genauso einbezogen wie die neoklassische Produktionsfunktion oder funktionale Zusammenhänge der endogenen Wachstumstheorie. Mittels System Dynamics werden diese Elemente unter der Berücksichtigung von Nichtlinearitäten, Verzögerungen sowie Rückkopplungsschleifen zu einem Gesamtmodell verknüpft. Somit können die komplexen Interaktionen der verschiedenen Einzelsysteme untereinander in einen konsistenten Systemzusammenhang überführt werden.

ASTRA ermöglicht eine flexible Gestaltung von Politiken hinsichtlich ihrer Intensität, ihrer zeitlichen Staffelung oder ihrer Zusammenfassung zu Politikpaketen. Letzteres ist bedeutsam zur Analyse von Synergien zwischen verschiedenen Politiken. Außerdem wird dadurch die

⁵ ASTRA = ASsessment of TRAnsport Strategies. Weitere Informationen und Anwendungen von ASTRA sind beschrieben auf der Website <http://www.astra-model.eu>

Analyse der Verbesserung von Maßnahmen oder das Gesamtergebnis besonders beeinflussenden Elementen durch flankierende Maßnahmen ermöglicht, z.B. um negative ökonomische Wirkungen einer Maßnahme zu kompensieren. Integrierte Funktionen zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen runden das Spektrum der Analysemöglichkeiten von ASTRA ab.

Abbildung 5 verdeutlicht auf vereinfachter Ebene, wie die wesentlichen makroökonomischen Zusammenhänge modelliert sind (eine detailliertere Darstellung findet sich in Abbildung 7). In ASTRA ist eine zeitliche Staffelung der Politikmaßnahmen durch die jahresfeinen Berechnungsschritte möglich. Damit können politische Instrumente hinsichtlich ihrer Intensität flexibel gestaltet werden und etwaige Unterschiede bedingt beispielsweise durch unterschiedliche Investitionstrajektorien sichtbar gemacht werden.

Es gibt zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Modell(teil)en, welche zu einem konsistenten Gesamtbild zusammengefügt sind. Die unterschiedlichen Maßnahmen haben nicht nur Auswirkungen innerhalb des Sektors, sondern ganz entscheidend sind auch die Wechselwirkungen mit dem Rest der Volkswirtschaft.

Entscheidend dabei ist, dass die Verflechtungen, welche der Verkehr mit den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft hat, möglichst einheitlich modelliert werden. So gibt es Maßnahmen, welche auf die Angebotsseite des Verkehrs zielen, aber über Maßnahmen in anderen Sektoren verwirklicht werden; ein klassisches Beispiel hierfür sind Infrastrukturmaßnahmen. In ASTRA können mittels der Verwendung von dynamischen Input-Output-Tabellen auch Zweitrundeneffekte abgebildet werden. Diese treten auf, wenn Nachfrageveränderungen in einem Sektor eine Veränderung der dafür notwendigen Vorleistungen anderer Sektoren bewirken und diese Veränderungen zu einem neuen Nachfragevektor führen und somit ein sich zeitlich abschwächender Impuls auf die übrigen Sektoren auftritt.

Durch diese Veränderungen wird auch die Wertschöpfungsintensität der Sektoren im Zeitverlauf angepasst und es können sich beispielsweise die relativen Transportpreisänderungen auf die Gesamtproduktivität niederschlagen. Auch kann z.B. eine Veränderung des Konsums auch eine Veränderung des Investitionsverhaltens der Akteure innerhalb des Verkehrssektors nach sich ziehen. Hier werden Übergabevariablen aus den privaten Verkehrsausgaben für die spezifische sektorale Investitionstätigkeit geschaffen. Damit ist auch die direkte Rückkopplung zum ökonomischen Teil gegeben, in welchem die Veränderung der notwendigen Vorleistungen für den Verkehrssektor Berücksichtigung finden.

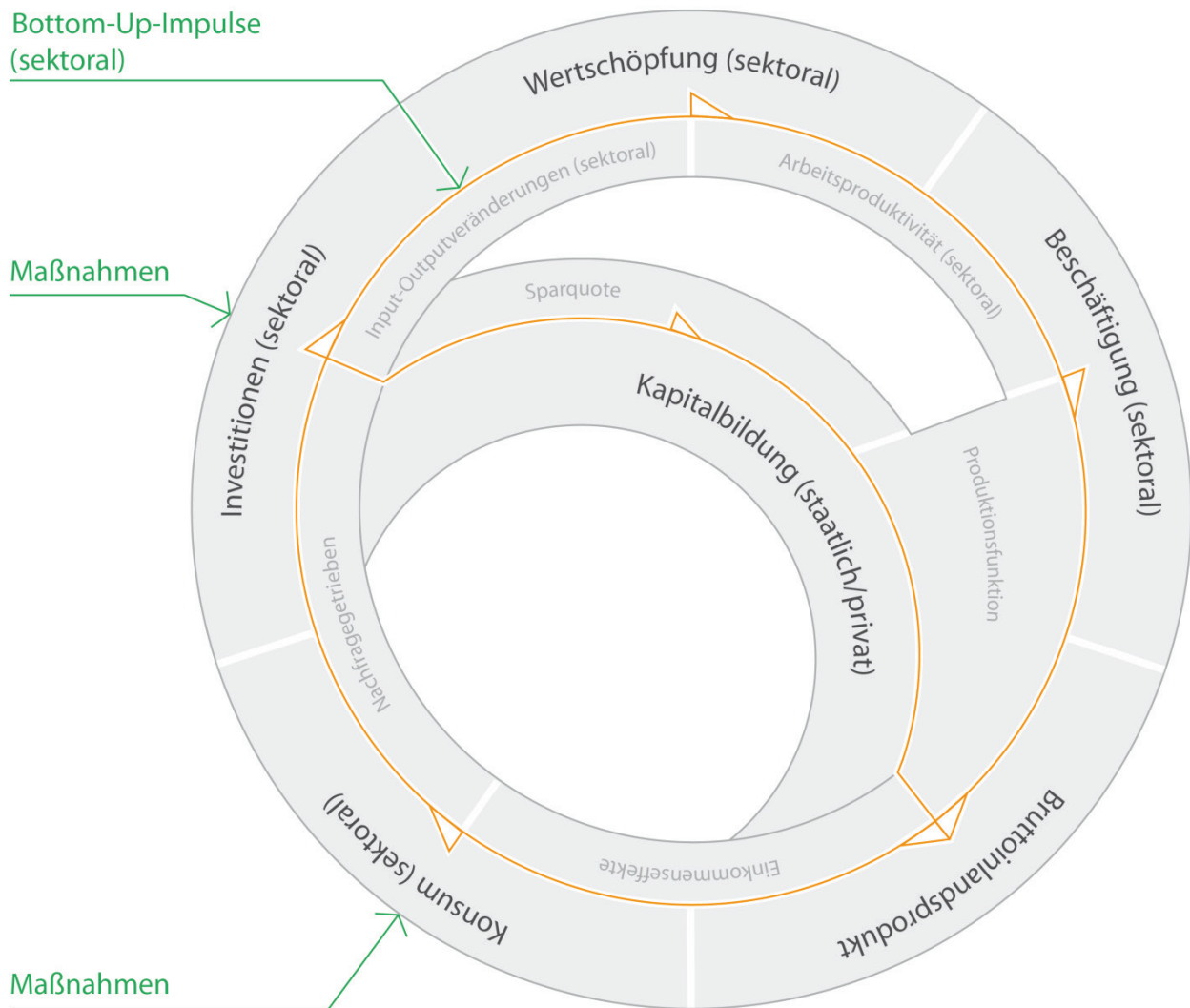


Abbildung 5: Darstellung der Verbindungen und Interaktionen der komplexen Einzelsysteme des ASTRA-Modells anhand des integrierten ökonomischen Kreislaufs

Quelle: Hartwig et al. 2012

2.6.2 Die deutsche Version von ASTRA

Im Projekt Renewbility II wurde eine deutsche Version von ASTRA entwickelt, welche aus dem europäischen Modell abgeleitet ist (nachfolgend als ASTRA-D bezeichnet). ASTRA-D kennzeichnet eine wesentlich größere Disaggregation der Anzahl der Sektoren. Damit einhergehend waren eine Neumodellierung des Input-Output-Modells und der darauf aufbauenden Konsum-, Investitions-, Beschäftigungs- sowie Staatsmodule erforderlich. Diese Erweiterung ist wesentlich, um eine Konsistenz hinsichtlich der spezifisch deutschen Datenbasis zu erreichen.

Für die Input-Output-Modellierung wurde dabei die Wirtschaftszweigklassifikation 2003 des statistischen Bundesamtes verwendet, da hierzu zum Modellierungszeitraum die entsprechenden Auswertungen bzw. Überleitungsrechnungen für den Kalibrierungszeitraum ab 1995 vorliegen; eine Aufstellung nach der Wirtschaftszweigklassifikation 2007 lag erst

gegen Projektende vor und konnte dementsprechend nicht mehr berücksichtigt werden (siehe hierzu auch Destatis 2010).

Neben der Umstellung der ökonomischen Datenbasis wurde auch eine Anpassung der regionalen Flächenaufteilung vorgenommen. Die Modellierung des Güterverkehrs wurde von den vier funktionalen Zonen im europäischen Modell auf die NUTS 2-Zonen ausgeweitet und die Distanzbänder für den intrazonalen Verkehr ebenfalls entsprechend angepasst (vgl. auch Hartwig et al. 2012).

2.6.3 Zusammenspiel von ASTRA-D mit den Verkehrsmodellen im Projekt Renewbility II

Eines der zentralen Modelle im Rahmen der ökonomischen Analyse von Klimaschutzstrategien bildet das endogene Investitions- und Konsummodul. In ASTRA-D werden Investitionen durch Konsumerwartungen, Exporterwartungen, das Verhältnis von Angebots- und Nachfrageseite des BIP und staatliche Einflüsse beeinflusst. Die endogen berechneten Investitionen können ergänzt werden durch exogen abgeschätzte Investitionen, die z.B. aus technologiebasierten Bottom-up-Modellen geliefert werden. Im Projekt Renewbility II wurden Schnittstellen geschaffen, damit die Ergebnisse der Bestandsmodellierung (Kapitel 2.3) sowie der Verkehrsnachfragemodellierung (Kapitel 2.4; Verkehrsnachfrage aggregiert auf NUTS 2-Ebene) in ASTRA-D integriert werden können. Tabelle 3 stellt die verschiedenen Übergabevariablen auf einer aggregierten Ebene dar.

Tabelle 3: Übersicht der Übergabevariablen der Fahrzeugbestands- und Verkehrsnachfragemodelle an ASTRA-D

Personenverkehr	Güterverkehr
Aus der Verkehrsnachfragemodellierung:	
Verkehrsleistung [Pkm]	Verkehrsleistung [tkm]
Fahrleistung [Fzgkm]	Tonnage
Modal Split	Durchschnittl. Transportweiten
Fahrten/Wege je Fahrzweck	Durchschnittl. Transportzeit
	Durchschnittl. Fahrtzeit
Aus der Fahrzeugbestandsmodellierung:	
Investitionskosten Pkw	Investitionskosten Lkw
Kraftstoff-/Energiekosten	Kraftstoff-/Energiekosten
Kraftstoff-/Energiesteuern	Kraftstoff-/Energiesteuern
Kfz-Steuer	Kfz-Steuer
Ausgaben für Versicherung, Wartung	Ausgaben für Versicherung, Wartung
	Straßennutzungsgebühren

Quelle: eigene Darstellung

Die Tonnage wird allerdings auch in ASTRA-D erzeugt; sie wird mit dem Nachfragemodell für den Güterverkehr VISEVA-W abgeglichen. Aus ASTRA-D werden zudem noch die Übergabevariablen Bevölkerung und Beschäftigte an die Verkehrsmodelle übergeben.

Abbildung 6 veranschaulicht diese Integration schematisch: die Verkehrsnachfrage wirkt sich sowohl indirekt über die Entwicklung der Fahrzeugbestände (und damit auf das entsprechende Konsum- und Investitionsverhalten) als auch direkt über die Verkehrsausgaben auf die Volkswirtschaft aus. Zusätzlich gibt es noch Investitions- und Handelsimpulse, welche einen Effekt auf verschiedene volkswirtschaftliche Sektoren haben, ohne direkt den Verkehrsbereich zu betreffen; ein klassisches Beispiel wären an dieser Stelle zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen, welche sich nicht durch eine Änderung des Verkehrsverhaltens erklären (diese sind modellendogen integriert), sondern als politisches Steuerinstrument vor der eigentlichen Wirkung eingesetzt werden und vor allem den Bausektor betreffen.

Die investiven Impulse stellen wesentliche ökonomische Einflussgrößen dar; in ASTRA-D werden zwei verschiedene Formen unterschieden:

- Investitionsgütersektoren: zu diesen gehören Sektoren wie Maschinenbau, Fahrzeugbau, Hoch- und Tiefbau. Die Investitionsnachfrage für diese Sektoren ist auf der sektoralen Ebene modelliert. D.h. sektorale Veränderungen des Konsums bzw. der Exporte führen zu einer veränderten Produktion von Investitionsgütern, die unterschiedlich ausfällt für den Maschinenbau oder das Baugewerbe.
- Übrige Sektoren: auf diese Sektoren entfällt nur ein kleiner Teil der Produktion von Investitionsgütern (10-15 %). Daher wird für sie verzichtet die sektoralen Einflüsse zu modellieren. Stattdessen werden Investitionen durch Veränderungen des aggregierten Konsums bzw. der aggregierten Exporte ausgelöst.

Investitionen stellen in ASTRA-D ein zentrales Bindeglied zwischen der Nachfrage- und Angebotsseite dar, da sie auf der Nachfrageseite direkt als Teil des BIP eingehen, und auf der Angebotsseite sowohl den Kapitalstock verändern als auch den durch die Gesamtfaktorproduktivität repräsentierten technischen Fortschritt stimulieren.

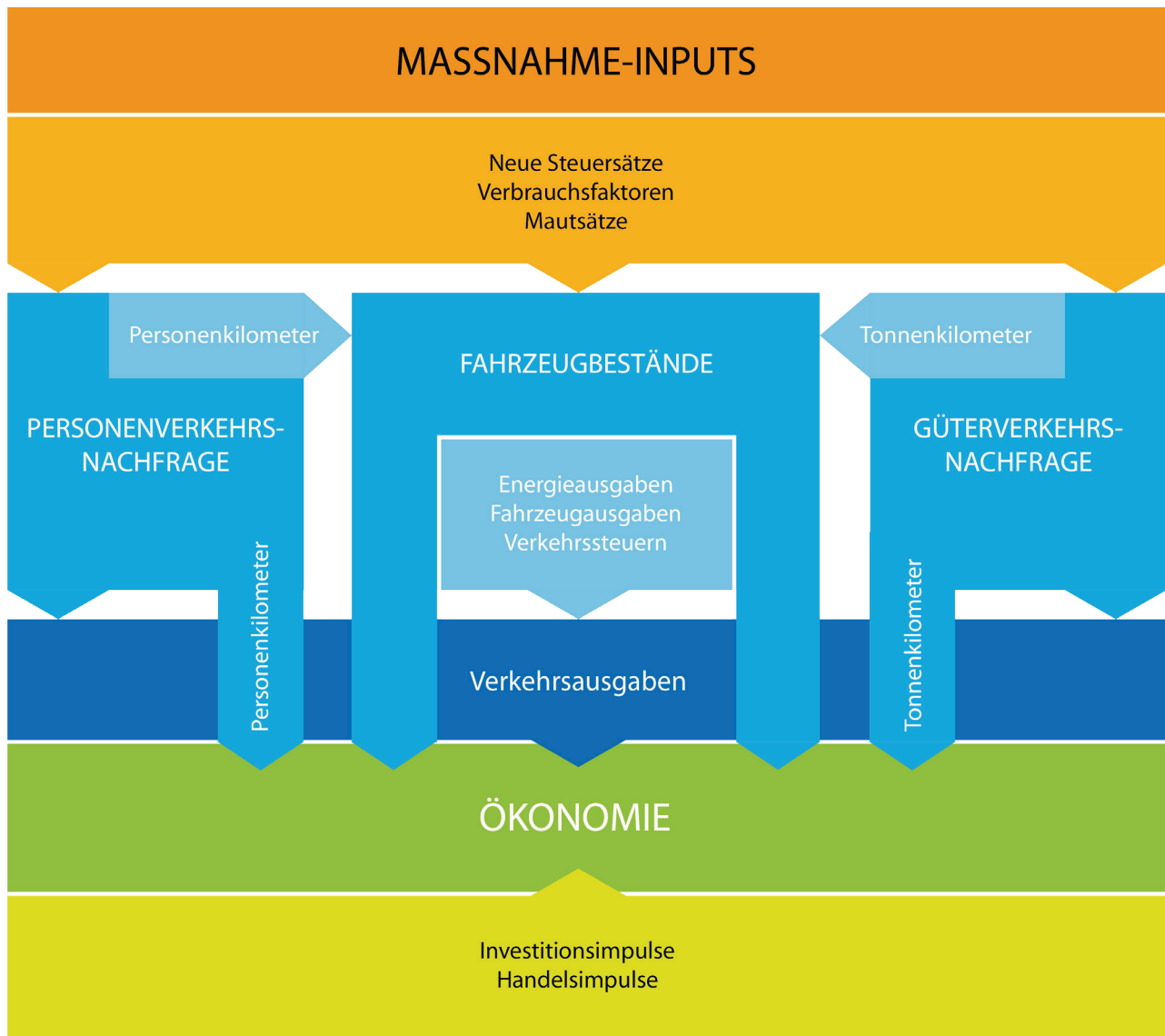


Abbildung 6: Verknüpfungen zwischen Maßnahmen, Verkehr und Ökonomie

Quelle: eigene Darstellung.

Unter Verwendung der Inputdaten (siehe Tabelle 3) aus den Kapiteln 2.3 (Fahrzeugbestand) sowie 2.4 (Verkehrsnachfrage) erfolgt die Ankopplung der Modellierungsergebnisse im Wesentlichen über drei Schnittstellen:

- **Nachfrageseite des BIP:** hierzu gehört die Veränderung der Konsumnachfrage sowohl durch veränderte Energieausgaben als auch durch Substitutionseffekte zwischen verschiedenen Produkten, verändertes Investitionsverhalten und die veränderten Energieimporte; Beschäftigungsmaßnahmen sind ebenfalls in die Modellierung mit eingeflossen. Über die aggregierte, sektorale Nachfrageseite werden dann auch Veränderungen in der Input-Output-Tabelle induziert.
- **Angebotsseite des BIP:** hierzu gehören die veränderten Investitionen, die sich auf die Gesamtfaktorproduktivität und den Kapitalstock auswirken.

- Intermediäre Inputs in der Input-Output-Tabelle: Energie- und Transportkostenänderungen führen zu Anpassungen der intermediären Inputs von den Energie- und Verkehrssektoren für die übrigen Sektoren. Diese schlagen sich in veränderter Bruttowertschöpfung aller Sektoren nieder. Hierbei überlagern sich die Effekte mit den Einflüssen von der Nachfrageseite der Input-Output-Tabelle.

Der Input aus den Verkehrsmodellen sowie der Investitions- und Handelsimpulse erfolgt auf der sektoralen Ebene z.B. über eine Veränderung der sektoralen Konsumausgaben der Haushalte bzw. der sektoralen Investitionsausgaben der Industrie. Diese führen sowohl zu einer Änderung des BIP auf der Nachfrageseite als auch zur Anpassung des Endnachfragevektors der Input-Output-Tabelle. Zusammen mit den Veränderungen auf der intermediären Ebene der Input-Output-Tabelle durch die Energiekostenänderungen der Industrie ergibt sich eine Veränderung der sektoralen Bruttowertschöpfung, wobei hier auch die sektoralen Outputänderungen zu berücksichtigen sind. Durch Verknüpfung der Bruttowertschöpfung mit den sektoralen Arbeitsproduktivitäten, die ggf. durch die Maßnahmen verändert werden, lässt sich die Beschäftigungswirkung der Klimaschutzmaßnahmen und -instrumente abschätzen. Unter Berücksichtigung der Veränderung des BIP auf Nachfrage- und Angebotsseite kann die Wachstumswirkung modelliert werden.

2.6.4 Die Modellierung des Bruttoinlandproduktes in ASTRA-D

Der Kern von ASTRA-D ist das makroökonomische Modul (MAC), welches die gesamtwirtschaftlichen Berechnungen durchführt. Es beinhaltet Elemente der neoklassischen Theorie wie beispielsweise die Produktionsfunktion zur Berechnung des Produktionspotenzials, parallel hierzu enthält es die Abhängigkeit der Investitionen von den staatlichen Einnahmen nach Keynes und ist erweitert um Einflüsse auf die Investitionen durch Exporte oder Staatsschulden. Zudem sind Elemente der endogenen Wachstumstheorie und den technischen Fortschritt als eine wichtige Einflussgröße für die gesamte wirtschaftliche Entwicklung im Modell verwendet.

Sechs Hauptelemente beschreiben die Funktionsweise des makroökonomischen Moduls in ASTRA-D (vgl. Schade 2005):

- Das erste Element beinhaltet die Interaktion zwischen allen verschiedenen Sektoren einer nationalen Wirtschaftssituation.
- Das zweite Element beschreibt die Nachfrage, welche aus vier Hauptkomponenten besteht: Konsum, Investitionen, Ex- und Importe sowie der staatliche Konsum.
- Im dritten Element wird die Angebotsseite durch die Einflüsse des Kapital, Arbeit und natürlicher Ressourcen sowie dem technischen Fortschritt, welcher als totale Faktorproduktivität beschrieben wird, dargestellt. Die Faktorproduktivität besteht in Abhängigkeit von Investitionen, Frachttransportzeiten und der Veränderung der Arbeitsproduktivität.
- Das vierte Element beinhaltet das Beschäftigungsmodul, welches auf den Input-Output-Berechnungen und der Arbeitsproduktivität basiert. Beschäftigung wird unterteilt in Vollzeit- und Gesamtbeschäftigung, um der zunehmenden Bedeutung der Teilzeitbeschäftigung Raum zu geben. In Gegenrechnung mit dem Bevölkerungsmodul wurden die Zahlen für die Arbeitslosigkeit ermittelt.

- Das fünfte Element des makroökonomischen Moduls beschreibt das Verhalten des Staates, hier sind weitestgehend die staatlichen Einnahmen und Ausgaben so kategorisiert, dass sie endogen modelliert werden können. Sie beinhalten im einzelnen Kraftstoffsteuereinnahmen, Direkt- und Importsteuern, Sozialabgaben, Mautgebühren und auf der anderen Seite Sozialleistungen, Investitionen in den Verkehr, staatlichen Konsum und die Ausgaben im Rahmen der Staatsverschuldung.
- Das sechste und letzte Element sind die Mikro-Makro-Brücken. Darunter versteht man die Verbindung zwischen detaillierten und übergreifenden Modellebenen, wie beispielsweise die Verbindung zwischen dem Verkehrsmodul und den Komponenten des makroökonomischen Moduls. Dies bedeutet zum Beispiel, dass Ausgaben für den Bus- oder Zugverkehr Teil der Gesamtnachfrage des ökonomischen Sektors für Inlandtransporte innerhalb des sektoralen Moduls werden. Die wichtigste Verbindung des sechsten Elementes besteht zum Bruttoinlandsprodukt, welches beispielsweise benötigt wird, um die wirtschaftlichen Ströme zwischen europäischen Ländern berechnen zu können.

Abbildung 7 zeigt die Darstellung des makroökonomischen Moduls anhand der beschriebenen Elemente und konzentriert sich in dieser Abbildung zentral auf die Gestaltung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) ausgehend von den einzelnen Komponenten

Die Verflechtung der Investitionen mit der Nachfrage erfolgt durch eine Modellierung des BIP. Das BIP-Modul setzt sich aus einer Angebots- und einer Nachfrageseite zusammen. Über die Kombination aus den Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital sowie den Faktorproduktivitäten wird die Angebotsseite des BIP modelliert. Besondere Berücksichtigung findet hierbei der Einfluss der Güterverkehrstransportzeiten auf die Gesamtfaktorproduktivität. Die Endnachfrage, welche sich aus dem privaten Konsum, Investitionen sowie Staatskonsum zusammensetzt, hat über das Beschäftigungs- sowie das Investitionsmodul Auswirkungen auf Arbeits- und Kapitalangebot und damit auch auf die Angebotsseite des BIP.

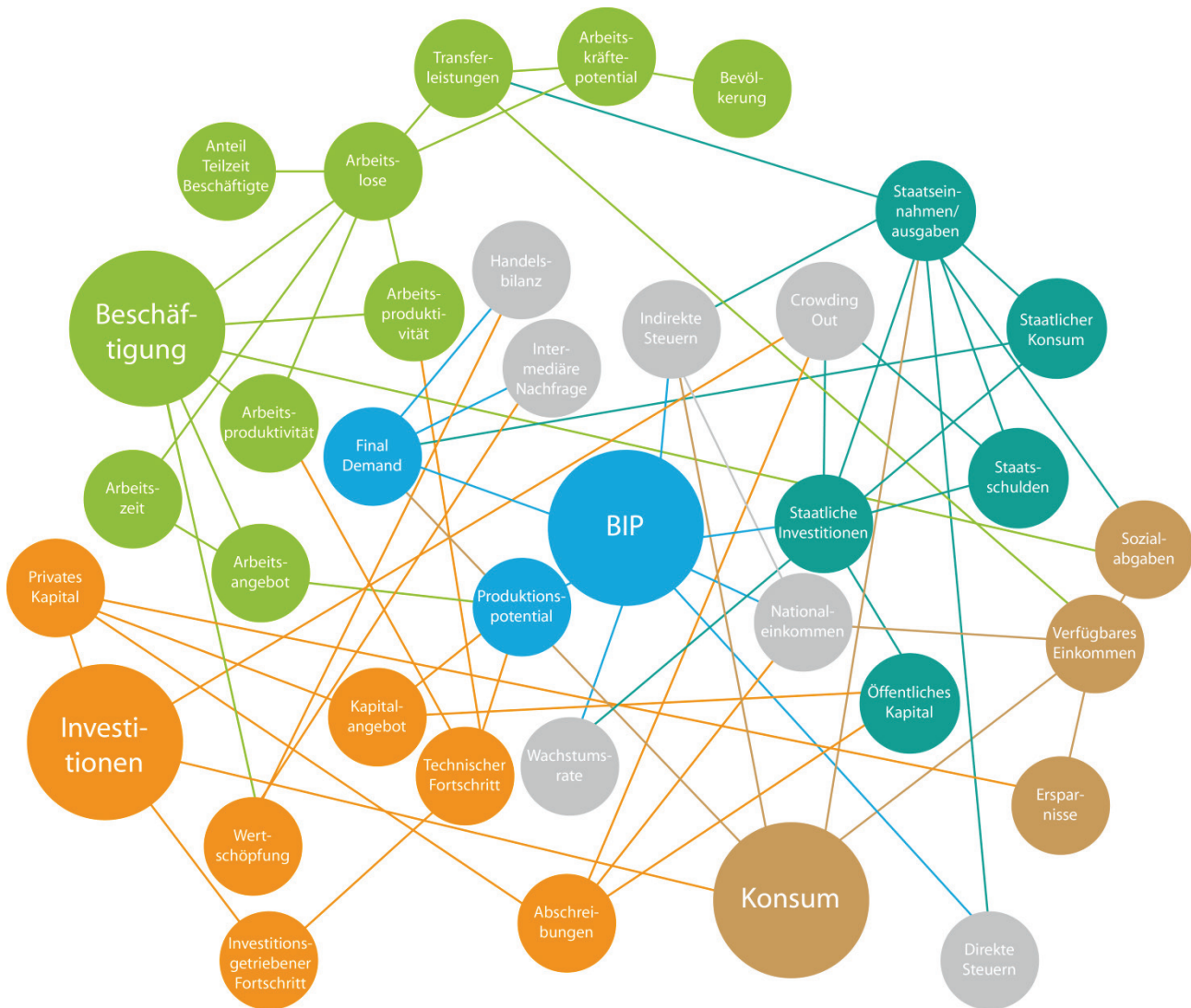


Abbildung 7: Modellierung von BIP, Beschäftigung, Investitionen und Konsum in ASTRA-D

Quelle: Hartwig et al. 2012

Durch die Verknüpfung der Bottom-up-Impulse mit der makroökonomischen Top-down-Modellierung können zentrale Aktivitätsdaten der einzelnen Sektoren abgebildet werden. So kann nicht nur das Produktionsvolumen der Sektoren im Zeitverlauf dargestellt werden, sondern auch die Zahl der Beschäftigten pro Sektor. Hieraus ergeben sich im Vergleich zwischen Basis- und Klimaschutzszenario intersektorale Verteilungseffekte; die Aufgliederung in die einzelnen Sektoren erlaubt eine differenzierte Analyse der Kosten und Nutzen der unterschiedlichen Akteure.

ASTRA-D beinhaltet auch ein Staatsmodell, in dem die Einnahmen- und Ausgabenseite des Staates abgebildet ist. Dadurch lassen sich die Wirkungen auf den Staatshaushalt simulieren und darstellen.

3 Renewbility II-Szenarien

3.1 Vorgehensweise und Zielstellung

Ein zentrales Element bei Renewbility ist die Formulierung und Analyse von Szenarien. Die Szenariotechnik stellt eine wissenschaftlich etablierte und ausdifferenzierte Methode dar, um mögliche Entwicklungspfade zu untersuchen. Bei der Ausgestaltung der Renewbility-Szenarien stand die Einbeziehung von Stakeholdern im Vordergrund. Dies ermöglichte eine hohe Transparenz und gesellschaftliche Beteiligung sowie die gemeinsame Beurteilung der Wirkung von definierten Maßnahmen und Annahmen und die Schaffung einer größtmöglichen Akzeptanz für das Renewbility-Analyseinstrumentarium, die Modellierungen und letztlich die Ergebnisse. Die Einbeziehung unterschiedlicher Akteure schuf zudem die Basis für einen Dialog über die Realisierbarkeit technischer und nicht-technischer Maßnahmen für mehr Klimaschutz und für steigende Anteile erneuerbarer Energien im Verkehrssektor.

In Fortführung des Szenarioprozesses aus dem Vorgängervorhaben wurden auch in Renewbility II Vertreter der Automobil-, Bahn-, Energie- und Logistikbranche sowie von Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden in den Prozess der Modellweiterentwicklung und die Szenarioausgestaltung eingebunden. Während der zweijährigen Laufzeit wurden fünf ganztägige Workshops durchgeführt. Die Mehrheit der beteiligten Stakeholder aus Renewbility I konnte auch für das Folgevorhaben gewonnen werden, wodurch Kontinuität bei der Vorhabenbegleitung sichergestellt war. Darüber hinaus haben sich in Renewbility II neue gesellschaftliche Akteure am Szenarioprozess beteiligt.

Aufgabe der genannten Stakeholder – die sogenannte Szenariogruppe – war es, neben einem aktualisierten Basisszenario, welches gegenüber Renewbility I veränderte Rahmenbedingungen berücksichtigt, ein weiteres Klimaschutzszenario zu entwickeln. Dies sollte unter der Maßgabe erfolgen, eine über das Klimaschutzszenario aus Renewbility I hinausgehende Treibhausgasminderung im Verkehr bis 2030 zu erzielen. Im Laufe des Szenarioprozesses wurden Maßnahmenvorschläge der Teilnehmer zunächst hinsichtlich ihrer Einzelwirkung untersucht. Im Laufe von fünf Arbeitstreffen konzipierten die Stakeholder schließlich ein Klimaschutzszenario für den Verkehr bis 2030. Dieses kombiniert angebots- und nachfrageseitige Maßnahmen, die in ihrer Bandbreite und Ausgestaltung über das Klimaschutzszenario von Renewbility I hinausgehen.

3.2 Ausgestaltung der Szenarien

3.2.1 Aktualisiertes Basisszenario

3.2.1.1 Vorgehen

Im Projekt wurde ein Basisszenario definiert, das diejenigen verkehrspolitischen Maßnahmen berücksichtigt, die bereits geltendes Recht sind bzw. die in den kommenden Jahren geltendes Recht werden.

Die Annahmen im Basisszenario wurden in Renewbility II auf Grundlage aktueller Entwicklungen sowie von Prognosen der sozio-ökonomischen Rahmendaten und der politischen Rahmenbedingungen aktualisiert. Die Entwicklung des Verkehrssektors orientiert

sich wie in Renewbility I an der Verkehrsprognose des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung aus dem Jahr 2007 (IPT, BVU 2007), die an aktualisierte Daten und Erkenntnisse angepasst wurde.

Die Grundlage für die sozio-ökonomischen Rahmendaten bildet das Basisszenario aus den „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (Prognos, EWI, GWS 2010). Diese berücksichtigen die Auswirkungen der Wirtschafts- und Finanzkrise auf das Wirtschaftswachstum. Ferner geht die aktualisierte Bevölkerungsprognose von einem stärkeren Bevölkerungsrückgang in Deutschland bis zum Jahr 2030 aus. Für die Modellierung des Mobilitätsverhaltens konnten die aktuellen Daten aus der Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland“ aus dem Jahr 2008 (Infas, DLR-IVF 2010) verwendet und somit Veränderungen im Mobilitätsverhalten seit der letzten Erhebung im Jahr 2002 berücksichtigt werden.

Maßnahmensseitig stellt die Verabschiedung der EU-Emissionsstandards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge die bedeutendste Veränderung gegenüber Renewbility I dar. Da die entsprechende EU-Verordnung mittlerweile geltendes Recht ist, wurde eine entsprechende Effizienzentwicklung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nun bereits im Basisszenario berücksichtigt. Für die Bereiche Strom und Wärme enthält das Basisszenario die Zielsetzungen des Bundesumweltministeriums zum Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2030 (DLR, IWES, IfNE 2012).

Das Basisszenario stellt damit keine klassische Trendprojektion dar, sondern nimmt bereits deutlich spürbare Veränderungen im Mobilitäts- und Energiesektor insgesamt an. Im Folgenden dient es als Vergleichsbasis, um die Wirkung neuer, zusätzlicher Maßnahmen und Annahmen auf den Verkehrssektor quantifizieren zu können.

3.2.1.2 Annahmen und neu modellierte Parameter

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der im Basisszenario von Renewbility II betroffenen Annahmen und setzt diese in Bezug zur Ausgestaltung im Vorgängerprojekt Renewbility I (kursive Schreibweise). Insbesondere die Berücksichtigung deutlich veränderter sozio-ökonomischer Rahmenbedingungen, aber auch der zunehmende Effizienzfortschritt bei Pkw, erforderten es, im Rahmen von Renewbility II deren Rückwirkung auf Verkehrsleistung und den Modal Split im Güter- und Personenverkehr neu zu modellieren. Das methodische Vorgehen und die Ergebnisse der neu modellierten Parameter werden in Kapitel 3.2.1.3 im Detail diskutiert. In der folgenden Tabelle sind bezüglich Verkehrsleistung und Modal Split lediglich die wesentlichen Ergebnisse der Neuberechnungen dokumentiert.

Während sich die weiteren Annahmen zum Motorisierungsgrad, dem Mobilitätsbudget der Haushalte sowie die Annahmen zum weiteren Ausbau der Verkehrsweginfrastruktur weiterhin an der Verkehrsprognose 2025 orientieren, wurden insbesondere die Annahmen zur Fahrzeugeffizienzentwicklung sowie zu Kraftstoffpreisen und -zusammensetzung gegenüber Renewbility I deutlich verändert und sind daher bezüglich ihrer Umsetzung im Folgenden noch näher ausgeführt.

Tabelle 4: Überblick der Annahmen und neu modellierter Parameter im Basisszenario von Renewbility II

Aspekt/Faktor	Annahme im Basisszenario
Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen	
Demographische Entwicklung	Bevölkerung 2030: 79,1 Mio., davon 27 % 65 Jahre und älter (regionalisierte Bevölkerungsprognose des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung) <i>Renewbility I: 81 Mio. Einwohner im Jahr 2030, davon 34 % über 60 Jahre</i>
Wirtschaftsentwicklung (BIP)	Durchschnittliche Wachstumsrate von real 1,1 % p.a. bis 2030 (nach Energieszenarien 2011) <i>Renewbility I: Wachstumsrate von real 1,7 % p.a. bis 2030</i>
Personenverkehr	
Motorisierungsgrad	Anteil steigt von 68 % (2005) auf 75 % der Erwachsenen (2030) ⁶
Pkw-Bestand	Anstieg von 46,1 Mio. (2005) auf 51,3 Mio. Pkw (2030)
Mobilitätsbudget	Konstantes Budget von 14 % am (steigenden) Haushaltsnettoeinkommen
Mobilitätskosten	Grundlegender Anstieg um real 1 % p.a. für alle Verkehrsarten ⁶ , variable Kosten beim Pkw-Verkehr sinken jedoch aufgrund des geringeren Kraftstoffverbrauchs (siehe Effizienz Pkw) <i>Renewbility I: Anstieg um real 1 % p.a. für alle Verkehrsarten, jedoch höhere variable Kosten beim Pkw-Verkehr aufgrund einer weniger ambitionierten Effizienzentwicklung</i>
Fahrleistung motorisierter Individualverkehr ⁷	Anstieg um 31 % von 2005 bis 2030 <i>Renewbility I: Anstieg um 16 % von 2005 bis 2030 (VP 2025)</i>
Modal Split im Personenverkehr ⁷	Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) steigt um 3,2 %-Punkte, Rückgang beim Öffentlichen Verkehr (ÖV) um 2,3 %-Punkte und um 0,9 %-Punkte beim nicht-motorisierten Individualverkehr (NMIV) im Zeitraum 2005 bis 2030 <i>Renewbility I: MIV-Anteil steigt um 2,3 %-Punkte, ÖV und NMIV sinken um 0,6 %-Punkte bzw. um 1,7 %-Punkte von 2005 bis 2030⁶</i>
Güterverkehr	
Güterverkehrsleistung ⁷	Anstieg um 76 % von 2005 bis 2030 <i>Renewbility I: Anstieg um 91 % von 2005 bis 2030⁶</i>
Kosten im Güterverkehr	Kostenreduktion durch Produktivitätsfortschritte von 0,4 % p.a. beim Straßen- und Schienenverkehr sowie 1,7 % p.a. beim Binnenschiff ⁶
Modal Split im Güterverkehr ⁷	Anteil des Straßenverkehrs steigt um 4,4 %-Punkte, Rückgang Schienengüterverkehr um 0,8 %-Punkte, Rückgang Binnenschifffahrt um 3,6 %-Punkte, jeweils bis 2030 <i>Renewbility I: Anteil Straßenverkehr steigt um 4,5 %-Punkte, Anteil Schienenverkehr und Binnenschifffahrt sinken um 1 %-Punkt bzw. um 3,5 %-Punkte von 2005 bis 2030⁶</i>
Infrastruktur	
Ausbau Straßennetz	Realisierung aller Projekte des vordringlichen Bedarfs des Bundesverkehrswegeplans 2003 ⁶
Ausbau ÖPNV-Netz	Derzeitige Bedienstrukturen bleiben erhalten, Kapazitäten und Bedienstandards werden dem Bedarf angepasst ⁶

⁶ Laut Verkehrsprognose 2025 (VP 2025) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

⁷ Diese wurde ausgehend von der VP 2025 unter Berücksichtigung der veränderten sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen und den veränderten Mobilitätskosten im Projekt Renewbility II neu modelliert.

Ausbau Schienennetz	Ausbau der Schienenwege und Transportzeitverkürzung entsprechen den Projekten der VP 2025
Fahrzeugeffizienz	
Effizienz Pkw	Berücksichtigung des EU-Emissionsstandards für Pkw-Neuzulassungen von EU-weit durchschnittlich 95 g CO ₂ /km (2020) und Fortschreibung auf 80 g CO ₂ /km (2030); Anpassung an deutsche Bestandsstruktur (13 g CO ₂ /km über dem EU-Schnitt) ⁸ . Minderung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs von Neuwagen um 45 % von 2005 bis 2030 <i>Renewbility I: Minderung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs von Neuwagen um 30 % bis 2030 gegenüber 2005</i>
Effizienz Bus	Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge bis 2030 um 20 % ⁸ <i>Renewbility I: Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge bis 2030 um 16 %</i>
Effizienz Bahn	Minderung des Energieverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge um 20 % bis 2030 ⁸
Effizienz leichte Nutzfahrzeuge	Berücksichtigung des EU-Emissionsstandards für neu zugelassene leichte Nutzfahrzeuge von durchschnittlich 147 g CO ₂ /km (2020) und Fortschreibung auf 140 g CO ₂ /km (2030); Anpassung an deutsche Bestandsstruktur ⁸ ; Minderung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge um 30 % von 2005 bis 2030 <i>Renewbility I: Minderung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge um 24 % bis 2030</i>
Effizienz Lkw	Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge bis 2030 um 20 % ⁸ <i>Renewbility I: Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge bis 2030 um 16 %</i>
Kraftstoffe	
Biokraftstoffe	Biokraftstoff-Quoten von 11,5 % (2020) und 20 % (2030) im Straßenverkehr; zunehmender Einsatz von Biokraftstoffen der zweiten Generation, Berücksichtigung der EU-Nachhaltigkeitsstandards beim Anbau der Biomasse <i>Renewbility I: Quoten von 10 % (2020) und 15 % (2030) im Straßenverkehr</i>
Preise Kraftstoffe	Anstieg der Kraftstoffpreise auf real 1,53 €/2010/Liter (Diesel) bzw. 1,66 €/2010/Liter (Benzin) im Jahr 2030 (Rohölpreis von rund 126 US\$/bbl in Anlehnung an das Referenzszenario des EIA International Energy Outlook) <i>Renewbility I: Anstieg auf real 1,59 €/2010/Liter (Diesel) bzw. 1,79 €/2010/Liter (Benzin) im Jahr 2030</i>

Quelle: eigene Darstellung

Fahrzeugeffizienz

Bereits im Basisszenario wird die Annahme getroffen, dass sich der Kraftstoffverbrauch von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen bis 2030 stark reduziert und deutlich über die Effizienzsteigerung aus dem Basisszenario von Renewbility I hinausgeht. Der Hintergrund für diese Annahme sind die rechtlich bindenden und EU-weit gültigen CO₂-Emissionsstandards für neu zugelassene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis zum Jahr 2020 sowie eine moderate Fortschreibung im Szenario bis zum Jahr 2030. Insbesondere die deutliche Effizienzsteigerung bei Pkw und die damit einhergehende Minderung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs stellt

⁸ In Anlehnung an TREMOD (Version 5.2, Annahmen aus dem Trendszenario bis 2030)

die bedeutendste Einflussgröße auf die Veränderung der Pkw-Fahrleistung im aktualisierten Basisszenario dar.

Für die weiteren Verkehrsmittel – Busse, Lkw und Schienenfahrzeuge – wird bis zum Jahr 2030 eine Minderung des Energieverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge um 20 % gegenüber dem Basisjahr 2005 unterstellt. Diese Annahme lehnt sich an die Entwicklung des TREMOD-Trendszenarios (IFEU 2011) an.

Biokraftstoffe

Im Basisszenario wird ein Anstieg der Biokraftstoff-Quoten von 10 % im Jahr 2020 und 20 % im Jahr 2030 im Straßenverkehr sowie ein zunehmender Einsatz von Biokraftstoffen der zweiten Generation und die Berücksichtigung der EU-Nachhaltigkeitsstandards beim Anbau der Biomasse unterstellt.

Die Modellierung der Biokraftstoff-Beimischungen im Basisszenario erfolgte auf Grundlage der Angaben von BMU und UBA im Nationalen Aktionsplan Erneuerbare Energien (NREAP) (BMU 2010) sowie eigenen Annahmen. Im NREAP werden bis 2020 die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Daten genannt (BMU 2010).

Tabelle 5: Anteile und Herkunft von Biokraftstoffen nach dem deutschen NREAP

in PJ	2005	2010	2020
Bioethanol/ETBE	6,0	26,8	35,9
davon nach Art 21(2) (Untergrenze)	0,0	0,0	1,3
davon nach Art 21(2) (Obergrenze)	0,0	0,0	18,5
hier geschätzt für ligno-EtOH			10,0
davon importiert	0,0	7,9	11,6
Biodiesel*	66,9	116,8	186,0
davon nach Art 21(2)	0,0	4,1	4,1
davon importiert	0,0	61,1	119,2
Wasserstoff aus EE	0,0	0,0	0,0
Strom aus EE	7,1	9,2	27,9
davon im Straßenverkehr	0,0	0,0	2,6
davon nicht im Straßenverkehr	7,1	9,2	25,3
Sonstige (Biogas BtL, Pflanzenöl, Untergrenze)	7,4	4,3	7,2
Sonstige (Biogas BtL, Pflanzenöl, Obergrenze)	7,4	4,3	10,9
davon nach Art 21(2) (Untergrenze)	0,0	0,0	1,1
davon nach Art 21(2) (Obergrenze)	0,0	0,0	4,8
Summe (Untergrenze)	87,4	157,0	257,1
Summe (Obergrenze)	87,4	157,0	260,8
davon nach Art 21(2) (Untergrenze)	0,0	4,1	6,5
davon nach Art 21(2) (Obergrenze)	0,0	4,1	27,4

in PJ	2005	2010	2020
Bedarf Verkehr		2195,0	2177,0
Biokraftstoffanteil		6,7%	10,5%
EtOH		1,2%	1,6%
Biodiesel		5,3%	8,5%
Biogas usw.		0,2%	0,5%
RE-Strom Straße			0,1%

Quelle: BMU 2010, eigene Berechnungen⁹

Der NREAP gibt keine Hinweise, woher die Importe stammen und wie sich die Kategorien „EtOH“ und „Biodiesel“ weiter aufteilen.

Daher wurden auf Grundlage von BLE (2011) und JRC-IE (2011) sowie eigenen Überlegungen die in der folgenden Tabelle gezeigten jeweiligen Biokraftstoffanteile nach Herkunft abgeschätzt. Die Prozentangaben beziehen sich auf den gesamten Kraftstoffverbrauch des bodengebundenen Verkehrs.

⁹ Angaben ohne „double counting“ nach RED Art. 21 (2)

Tabelle 6: Anteile und Herkunft von Biokraftstoffen im Basisszenario von Renewability II

biogener Ottokraftstoff	Anteile Basisszenario, gesamtbezogen			
Herkunft	2010	2020	2020*	2030
1G-EtOH-Weizen	0,90%	1,50%	1,50%	0%
1G-EtOH-Zuckerrübe	0,17%	0,25%	0,25%	0%
2G-EtOH-Stroh	0%	1,00%	2,00%	2,50%
1G-EtOH-Zuckerrohr-BR	0,33%	1,25%	1,25%	4,00%
2G-EtOH-Zuckerrohr-BR	0%	0%	0%	2,50%
Summe	1,40%	4,00%	5,00%	9,00%
Summe kraftstoffbezogen	3,38%	8,97%		22,23%

biogener Diesel	Anteile Basisszenario, gesamtbezogen			
Herkunft	2010	2020	2020*	2030
Raps-Öl	0,10%	0,05%	0,05%	0%
AME	0,05%	0,05%	0,10%	0,10%
RME	3,11%	3,40%	3,40%	0%
PME	0,69%	1,50%	1,50%	2,50%
SME	0,45%	0,50%	0,50%	0%
BtL-Wald	0%	0,50%	1,00%	2,50%
BtL-KUP	0%	0%	0%	3,00%
BtL-Wald-CEE	0%	0%	0%	2,90%
Summe	4,40%	6,00%	6,55%	11,00%
Summe kraftstoffbezogen	7,52%	10,73%		18,48%

Quelle: GEMIS 4.8¹⁰

Gegenüber dem NREAP wird damit im Renewability II-Basisszenario von einem höheren EtOH-Anteil im Jahr 2020 und einem geringeren Biodiesel-Anteil ausgegangen, da eine nennenswerte weitere Steigerung des Rapsanbaus oder der Importe von PME und SME aufgrund von THG-Effekten durch direkte Landnutzungsänderungen (dLUC) bei gleichzeitig steigender THG-Mindestminderung nach 2017 (nach RED) nur sehr begrenzt und zu höheren Preisen möglich sind. Bei EtOH kann dagegen der Anteil von 1G-Importen aus Brasilien recht schnell erhöht werden bei günstiger THG-Bilanz und auch die 2G-EtOH-Optionen werden sich schneller als bei 2G-Biodiesel entwickeln.

Die folgende Tabelle zeigt die Well-to-Wheel-bezogenen THG-Emissionen der Biokraftstoffe sowie die des Mixes von fossilen und biogenen Otto- und Dieselmotorkraftstoffen im Basisszenario.

¹⁰ 1G = 1. Generation; 2G = 2. Generation; AME = Altfettmethylester; RME = Rapsölmethylester; PME = Palmölmethylester; SME = Sojaölmethylester; BtL = Biomass-to-Liquid; DE = Deutschland; CEE = Central/Eastern Europe

Tabelle 7: Gesamte THG-Emissionen für Kraftstoffe (inkl. Nutzung) im Basisszenario von Renewbility II

Fahrzeug	THG-Emissionen [g/MJ _{end}]		
	2010	2020	2030
Benzin (inkl. Bio)	84,2	83,0	72,5
EtOH-Weizen	50,4	42,5	
EtOH-Zuckerrübe	29,7	25,3	
EtOH-Zuckerrohr	33,2	28,4	26,1
EtOH-2G-Stroh		9,1	8,3
EtOH-2G-Zuckerrohr			14,3
Diesel (inkl. Bio)	84,0	81,2	82,7
AME	8,5	8,5	
Rapsöl	51,7		
RME	57,5	57,5	
PME	62,0	28,2	24,2
SME	22,1	20,4	
BtL-Wald-DE		6,6	5,0
BtL-KUP			7,3
BtL-Wald-CEE			8,8

Quelle: GEMIS 4.8¹¹

Die angenommene Beimischung von Biokraftstoffen zu Benzin und Diesel führt bis 2030 damit zu einer Reduktion der THG-Emissionen, die bei Benzin höher ausgeprägt ist als bei Diesel, da die EtOH-Optionen nach 2020 geringere THG-Werte zeigten als bei Biodiesel.

Kraftstoffpreisentwicklung

In Renewbility II wird im Basisszenario der Preispfad des Referenzszenarios des International Energy Outlook (IEA 2010) zu Grunde gelegt, der nahezu deckungsgleich mit der Referenzvariante des World Energy Outlook ist (IEA 2010). Damit ergeben sich für die in Deutschland relevanten Rohölsorten die folgenden Preisannahmen (2008 betrug das Preisniveau etwa 100 \$/bbl):

- 111 \$/bbl für 2020
- 126 \$/bbl für 2030.

Neben der Entwicklung des Rohölpreises auf Dollarbasis spielt die zukünftige Entwicklung des Wechselkurses eine entscheidende Rolle für die Entwicklung der in Deutschland wirkenden Preissignale aus den Energiemärkten. Als Referenz für die Entwicklung der Wechselkurse zwischen Euro und US-Dollar kann auf zwei jüngere Szenario-Arbeiten zurückgegriffen werden.

¹¹ 1G= 1. Generation; 2G = 2. Generation; AME = Altfettmethylester; RME = Rapsölmethylester; PME = Palmölmethylester; SME = Sojaölmethylester; BtL = Biomass-to-Liquid; DE = Deutschland; CEE = Central/Eastern Europe

Aus dem Gutachten zum Energiekonzept der Bundesregierung (Prognos et al. 2010) lässt sich für 2020 ein Wechselkurs von 1,25 Dollar je Euro ermitteln. Diese Wechselkursannahme geht von einem weiter fallenden Trend aus, dementsprechend würde im Jahr 2030 der Wechselkurs 1,16 betragen. In der PRIMES-Baseline-Projektion der Europäischen Kommission (EC 2010) verläuft die Wechselkursentwicklung bis 2030 sehr ähnlich, für 2020 wird ein Wert von etwa 1,22 \$/€ erwartet, für 2030 werden 1,16 \$/€ unterstellt. Im Lichte der aktuellen Entwicklungen sowie mit Blick auf die Entwicklung der Kaufkraftparitäten zwischen US-Dollar und Euro wird für 2020 ein Wechselkurs von 1,22 \$/€ und für 2030 von 1,16 \$/€ unterstellt.

Die Energiesteuer (Mineralölsteuer) ist eine nominale Besteuerung, gilt also mit den gesetzlichen Werten in den Preisen des jeweiligen Jahres. Für die Werte in Renewability II in 2020/2030 wird sie deshalb mit einem Deflator von 1 % pro Jahr beaufschlagt, um sie auf die Preisbasis 2010 umzurechnen.

Den Preisen für „Fahrstrom“ (Strom für elektrisch betriebene Pkw) wird die Verwendung zusätzlicher Erneuerbarer Energien (vor allem Wind-Offshore und anteilige Regelenergie aus Erdgas-GuD-Kraftwerken) plus Übertragungs- und Verteilkosten zu Grunde gelegt und die (ebenfalls nominale) Stromsteuer einbezogen.

In Tabelle 8 sind die Endverbraucherpreise für die in den Szenarien maßgeblichen Energieträger im Verkehrsbereich dargestellt, die sich im Rahmen von Renewability II für die Basisentwicklung ergeben.

Tabelle 8: Kraftstoffpreisentwicklung im Basisszenario von Renewability II

		2020	2030	Einheit
Basisentwicklung inkl. Steuern	Benzin	1,59	1,66	€ ₂₀₁₀ /l
	Diesel	1,43	1,53	€ ₂₀₁₀ /l
	Strom	18,39	17,43	€cent ₂₀₁₀ /kWh
Basisentwicklung ohne Steuern	Benzin	0,74	0,85	€ ₂₀₁₀ /l
	Diesel	0,77	0,89	€ ₂₀₁₀ /l
	Strom	13,40	12,60	cent ₂₀₁₀ /kWh

Quelle: eigene Darstellung

3.2.1.3 Wirkung veränderter Rahmendaten – methodisches Vorgehen und Ergebnisse

Wechselwirkung zwischen sozio-ökonomischen Rahmendaten und Verkehrssektor

Das Basisszenario von Renewability II wurde an die Szenarien des Energiekonzeptes der Bundesregierung von 2010 (Prognos et al. 2010, im Folgenden als *Energieszenarien* (kurz: ESZ) bezeichnet), sowie an die 12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Variante 1-W2, Destatis 2009) angepasst. Gegenüber den bisher im Modellverbund von Renewability benutzten sozio-ökonomischen Rahmendaten, insbesondere der Verflechtungsprognose 2025 des BMVBS (IPT/BVU 2007), ergeben sich folgende drei zentrale Veränderungen (siehe auch Abbildung 8):

- Die erwartete durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des BIP sinkt von 1,7 % bis 2025 auf knapp 1 % bis 2030. Damit liegt das BIP in 2030 um 700 Mrd. Euro niedriger.
- Die Bevölkerung in Deutschland in 2030 beträgt nur 79,1 Millionen Einwohner gegenüber 81 Millionen bisher und liegt damit um etwa 2 Millionen Personen niedriger.
- Die Wirtschafts- und Finanzkrise von 2008/2009 findet in der Modellierung Berücksichtigung, so dass bereits das Ausgangsniveau des BIP in 2010 niedriger liegt.

Die geänderten sozio-ökonomischen Rahmendaten mussten in den Modellverbund eingepflegt werden. Hierzu wurde zunächst das Basisszenario in ASTRA-D an die Verflechtungsprognose 2025 des BMVBS (IPT/BVU 2007) angepasst, da dieses Modell bisher nicht dem Modellverbund aus Renewbility I angehört hat. Dadurch konnte das Modell die BIP- und Güterverkehrsentwicklung bis 2025 aus der Verflechtungsprognose 2025 abbilden. Anschließend wurde der BIP-Entwicklungspfad in ASTRA-D für den Zeitraum 2010 bis 2030 an den niedrigeren Wachstumspfad mit 1 % jährlichem Wachstum angepasst. Da das Modell ASTRA-D das BIP endogen berechnet, bedeutet diese Anpassung eine Absenkung einiger exogener Modellparameter, wie Investitionsmultiplikatoren, Multiplikatoren des technischen Fortschritts und die Absenkung der sektoralen Arbeitsproduktivitäten. Im Bevölkerungsmodell von ASTRA-D wurden die Geburten- und die Migrationsraten verringert, um die niedrigere Bevölkerung zu simulieren. Die Veränderungen zwischen altem Basisszenario aus der Verflechtungsprognose 2025 (VP 2025) und dem neuen Basisszenario in Renewbility II sind in Abbildung 8 dargestellt.

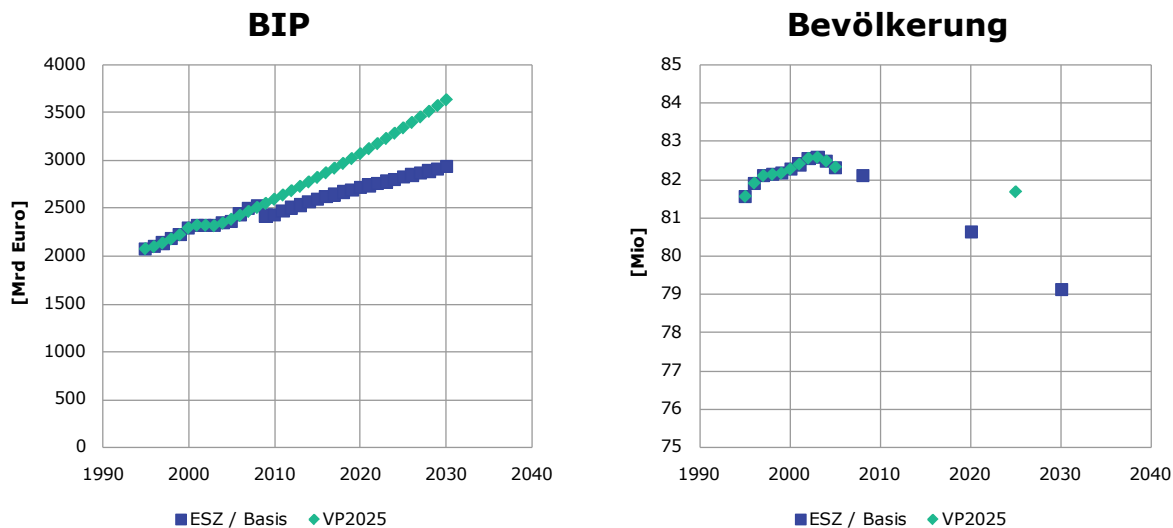


Abbildung 8: BIP und Bevölkerungsentwicklung im Basisszenario von Renewbility I (VP 2025) und Renewbility II (ESZ/Basis)

Quelle: eigene Darstellung nach: IPT, BVU (2007), PROGNOSES, EWI, GWS (2010)

Von der Wirtschafts- und Finanzkrise und ihren Auswirkungen war auch der Außenhandel betroffen. Deshalb wurden die Ex- und Importe in einer ähnlichen Größenordnung wie das BIP

reduziert, d.h. um rund 30 bis 40 %. Dies betrifft die Wachstumsraten mit den wichtigsten Handelspartnern innerhalb und außerhalb der Europäischen Union (siehe Abbildung 9).

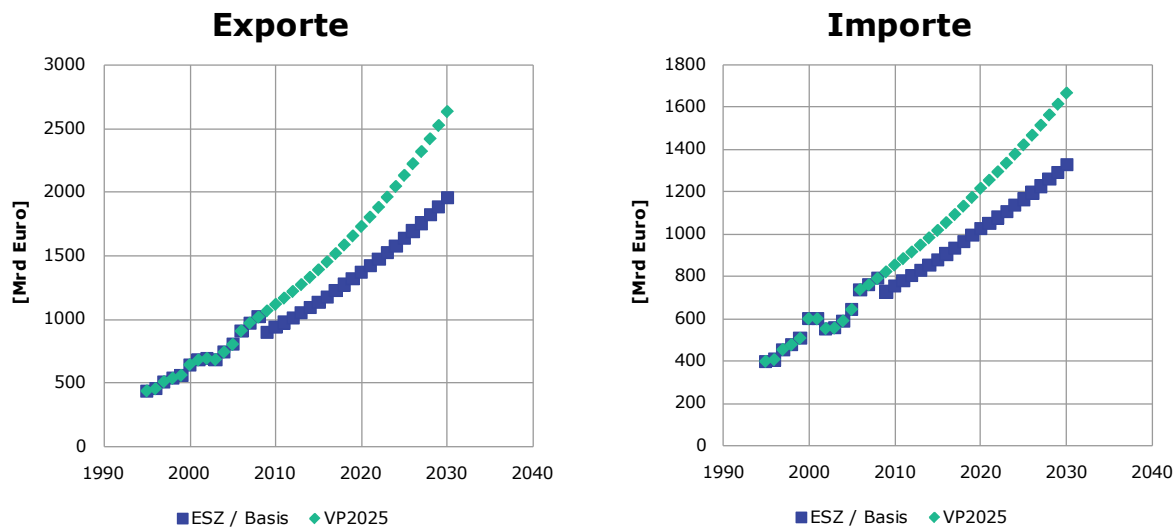


Abbildung 9: Deutsche Ex- und Importe im Basisszenario von Renewbility I (VP 2025) und Renewbility II (ESZ/Basis) – ASTRA-D Modellergebnisse

Quelle: eigene Darstellung nach: IPT, BVU (2007), PROGNOSE, EWI, GWS (2010)

Langfristige ökonomische Analysen zeigen, dass die Entwicklungen des BIP und der (Arbeits-) Produktivität analog verlaufen. Deshalb wurde die in ASTRA-D hinterlegte Arbeitsproduktivität an die niedrigeren Wachstumsraten des BIP angepasst. Dies geschieht auf der sektoralen Ebene, so dass die aggregierte und gewichtete Summe der sektoralen Arbeitsproduktivitäten sich konsistent mit der Entwicklung des BIP entwickelt. Zusammen mit dem angepassten BIP und den dadurch verursachten Nachfrageänderungen bildeten die angepassten Arbeitsproduktivitäten das Gerüst um eine neue Beschäftigungsentwicklung abzuschätzen. Diese wurde in ASTRA-D auf die deutschen NUTS-2 Zonen heruntergebrochen und stellte eine angepasste Inputgröße für die Verkehrsmodellierung sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr dar.

Die angepasste ökonomische Entwicklung hat vor allem Auswirkungen auf den Güterverkehr. ASTRA-D wurde hier genutzt, um auch das Aufkommensszenario für die angepassten sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen zu generieren. Hierbei wurde unterstellt, dass eine dynamischere ökonomische Entwicklung auch mit einem schnelleren Strukturwandel einhergeht, und umgekehrt. In ASTRA-D wurden aus den monetären Produktionswerten und Handelsströmen die Tonnagen abgeleitet. Für diese Transformation werden sogenannte „Volumen-zu-Wert“-Verhältnisse genutzt. Ein schnellerer Strukturwandel führt dazu, dass diese Volumen-zu-Wert-Verhältnisse sich schneller verringern. Hätte man die bisher auf der Verflechtungsprognose aufbauenden und kalibrierten Volumen-zu-Wert-Verhältnisse des ASTRA-D Modells aus dem dynamischen Szenario genutzt, wäre mit den veränderten Wirtschaftsdaten eine Stagnation bzw. ein leichter Rückgang des Güterverkehrsaufkommens bis 2030 gegenüber 2010 zu erwarten gewesen. Eine Stagnation des Güterverkehrsaufkommens

wurde allerdings als eher unwahrscheinlich eingestuft. Im Ergebnis wurden die Volumen-zu-Wert-Verhältnisse schwächer reduziert und damit eine Verlangsamung des Strukturwandels durch abgeschwächtes Wachstum des BIP im ASTRA-D-Modell eingeführt.

Abbildung 10 zeigt das daraus resultierende Güterverkehrsaufkommen für den Binnenverkehr und den grenzüberschreitenden Verkehr (GÜV). Für den Binnenverkehr ergibt sich im Vergleich zur Verkehrsprognose 2025 ein langsames Wachstum des Aufkommens um bis zu 4 %, während der GÜV einen deutlicheren Rückgang im Vergleich zur Verkehrsprognose um 15 bis 20 % ausweist, da die Handelsströme sich deutlich verhaltener entwickeln. Diese geänderte Tonnage liefert eine wichtige Inputgröße von ASTRA-D an die Güterverkehrsmodellierung.

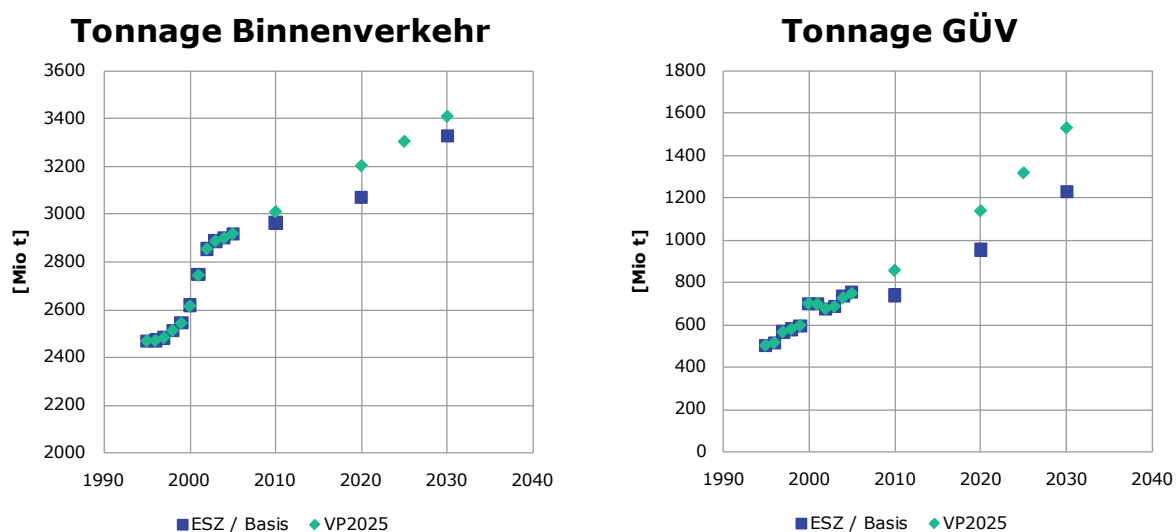


Abbildung 10: Anpassung der Tonnage im Basisszenario von Renewbility I (VP 2025) und Renewbility II (ESZ/Basis) – ASTRA Modellergebnisse

Quelle: eigene Darstellung nach: IPT, BVU (2007), PROGNOSE, EWI, GWS (2010)

Die Basisentwicklung der Personenverkehrsnachfrage berücksichtigt ebenfalls die in ASTRA-D hinterlegten Entwicklungen der Bevölkerung- und Erwerbszahlen. Zusätzlich wurden bei den Inputdaten der Mikro- und Makromodelle die nachfolgenden Aktualisierungen vorgenommen. Grundlage für diese Aktualisierungen des Verkehrsverhaltens bilden die Ergebnisse der MiD 2008. Zentrale Erkenntnisse aus der Befragung für 2008 gegenüber 2002 sind ein leichter Zuwachs im Modal Split bei ÖPV und Fahrrad, eine leichte Zunahme der absoluten Wegeanzahl pro Person und Tag (insbesondere für die Wegezwecke Freizeit und Einkauf) und ein Anstieg der zurückgelegten Kilometer pro Tag (hier vor allem beim ÖPV). Für die Berechnungen mit TAPAS wurden weitere, wesentliche Eingangsgrößen des Modells entsprechend aktualisiert: a) die Anzahl an Pkw im Haushalt, b) die Führerschein-Besitzquote, c) die Modal Splits nach Wegezwecken, Reiseweiten nach Wegezwecken. Eine Neukalibrierung des Modells für die Untersuchungsräume beendete die Anpassungsphase. Für das Makromodell (VISEVA/VISUM) wurden, ebenfalls auf Basis der MiD 2008, folgende Parameter aktualisiert: a) die spezifischen Wegeaufkommen nach Personengruppen und Wegezwecken, b) die

Reisweitenverteilungen nach Wegezwecken, c) der Modal Split und d) die Pkw-Verfügbarkeit nach Personengruppen. Auch hier erfolgte eine Neukalibrierung des Modells.

Personenverkehrsnachfrage im aktualisierten Basisszenario

Die Basisentwicklung im Personenverkehr in Renewbility II unterscheidet sich zur Basis des Vorgängerprojekts insbesondere aufgrund der angenommenen Effizienzsteigerung der Pkw. Diese ergibt sich aus den nun als geltend angenommenen EU-Standards für die CO₂-Emissionen der Neuzulassungen von 95 g/km im Jahr 2020 und 80 g/km im Jahr 2030. Entsprechend der abweichenden Flottenstruktur betragen die in Deutschland zu erreichenden Werte 108 g CO₂/km (2020) bzw. 95 g CO₂/km (2030).

Die Emissionsstandards werden in Renewbility II dadurch erreicht, dass neben den Basisvarianten der einzelnen Fahrzeugsegmente auch die effizienteren Varianten entsprechend der Technologiedatenbasis zum Einsatz kommen. Ferner ändert sich die Zusammensetzung der Segmente hin zu kleineren Fahrzeugen. Der Anteil kleiner Fahrzeuge beträgt im Jahr 2030 über 25 % gegenüber knapp 19 % im Jahr 2005. Der Anteil großer Pkw geht deutlich zurück und beträgt 2030 noch 14,5 %. Diese Verschiebung war in Renewbility I weniger stark.

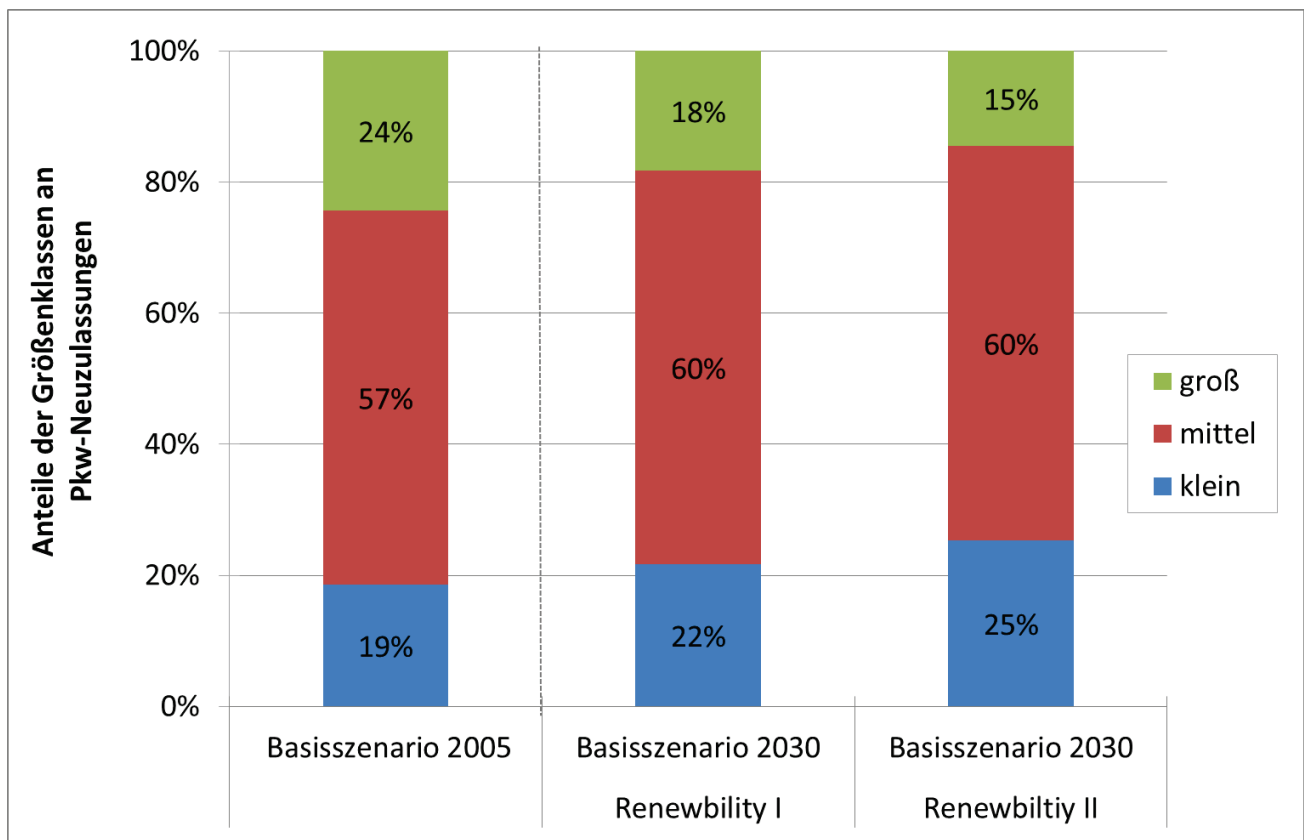


Abbildung 11: Entwicklung der Pkw-Neuzulassungsstruktur im Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung

Der Dieselanteil an den Neuzulassungen geht bis 2030 auf 29 % zurück, da angenommen wird, dass Effizienzsteigerungen bei Benzinern kostengünstiger zu realisieren sind als bei Dieselfahrzeugen. Elektrofahrzeuge sind im Basisszenario nicht enthalten.

Die Kraftstoffpreise haben im Basisszenario nur einen sehr geringen Einfluss auf die Neuzulassungen und werden von der Wirkung der Flottengrenzwerte überlagert. Die höheren Anschaffungskosten für die effizienteren Fahrzeuge fließen in die ökonomische Betrachtung des Modells ASTRA-D ein.

Die geringeren Kraftstoffkosten werden als Eingangsgröße in der Verkehrsnachfragemodellierung berücksichtigt. Aufgrund der sehr effizienten Neuzulassungen sinkt auch im Gesamtbestand der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch, sodass in der Basisentwicklung bis 2030 die Wegekosten der Pkw im Vergleich zum Ausgangsjahr 2008 um 20 % sinken. Dies sowie die angepasste demographische Entwicklung bis 2030 und die integrierten neuen Mobilitätsdaten aus der Erhebung MiD 2008 sind die wesentlichen Änderungen zur Basisentwicklung in Renewbility I. Die Änderungen ließen darauf schließen, dass eine von der Verkehrsprognose des BMVBS abweichende (höhere) Fahrleistung in Renewbility II bis 2030 zu erwarten war.

Aufgrund der effizienteren Fahrzeuge, resultierend aus der Einhaltung der gültigen CO₂-Emissionsstandards, ergeben sich die deutlich günstigeren Wegekosten für Pkw. Dies führt zu der erwarteten Zunahme der Pkw-Fahrleistung und bedeutet in der Konsequenz auch eine deutliche Abweichung von der in Renewbility bisher angenommenen vergleichbaren Entwicklung zur BMVBS-Verkehrsprognose 2025 (IPT/BVU 2007). Um diese Neuerungen auch quantitativ zu bewerten, wurde in Renewbility II eine von der BMVBS-Verkehrsprognose losgelöste, neue Basisentwicklung berechnet, bei der die Wirkung der geringeren Pkw-Wegekosten auf die Nachfrage berücksichtigt wurde. Dies führt über die Modellschritte der Mikromodellierung in den Untersuchungsräumen, der Integration der Verkehrsparameter im Makromodell sowie der Berechnung der deutschlandweiten Verkehrsnachfrage zu einer über die Steigerung der Verkehrsprognose hinausgehende Zunahme der Fahrleistung auf insgesamt 771,2 Mrd. Fahrzeugkilometer. Abbildung 12 stellt diese Basisentwicklung für Renewbility II im Vergleich zur Entwicklung der Fahrzeugkilometer in der Basisentwicklung Renewbility I mit 679,8 Mrd. Fahrzeugkilometer dar.

Mit dieser Basisentwicklung werden in Renewbility II neue Daten zur Verkehrsnachfrage bereitgestellt, die auch kritisch zu betrachten sind. Die im Vergleich zur Verkehrsprognose des BMVBS deutlich angestiegene Fahrleistung im Pkw-Verkehr erscheint im Wesentlichen plausibel, da die zu Grunde liegenden Annahmen zu einem deutlichen Kostenvorteil des Pkw gegenüber dem Öffentlichen Verkehr führt. Ob es realistisch ist, dass den deutlich sinkenden Pkw-Kosten von Seiten des Gesetzgebers nicht mit anderen, diesem Trend gegenläufigen Maßnahmen (z.B. der Erhöhung der Mineralölsteuer) begegnet wird, konnte im Projektkontext nicht beantwortet werden. Ferner ist aus methodischer Sicht anzumerken, dass eine Dämpfung des Anstiegs aufgrund von Kapazitätsengpässen und damit verbundenen Attraktivitätseinbußen für die Pkw-Verkehre auf den Straßen zu erwarten ist. Die Analyse kleinräumiger infrastrukturseitiger Effekte war jedoch nicht Bestandteil der Betrachtungen.

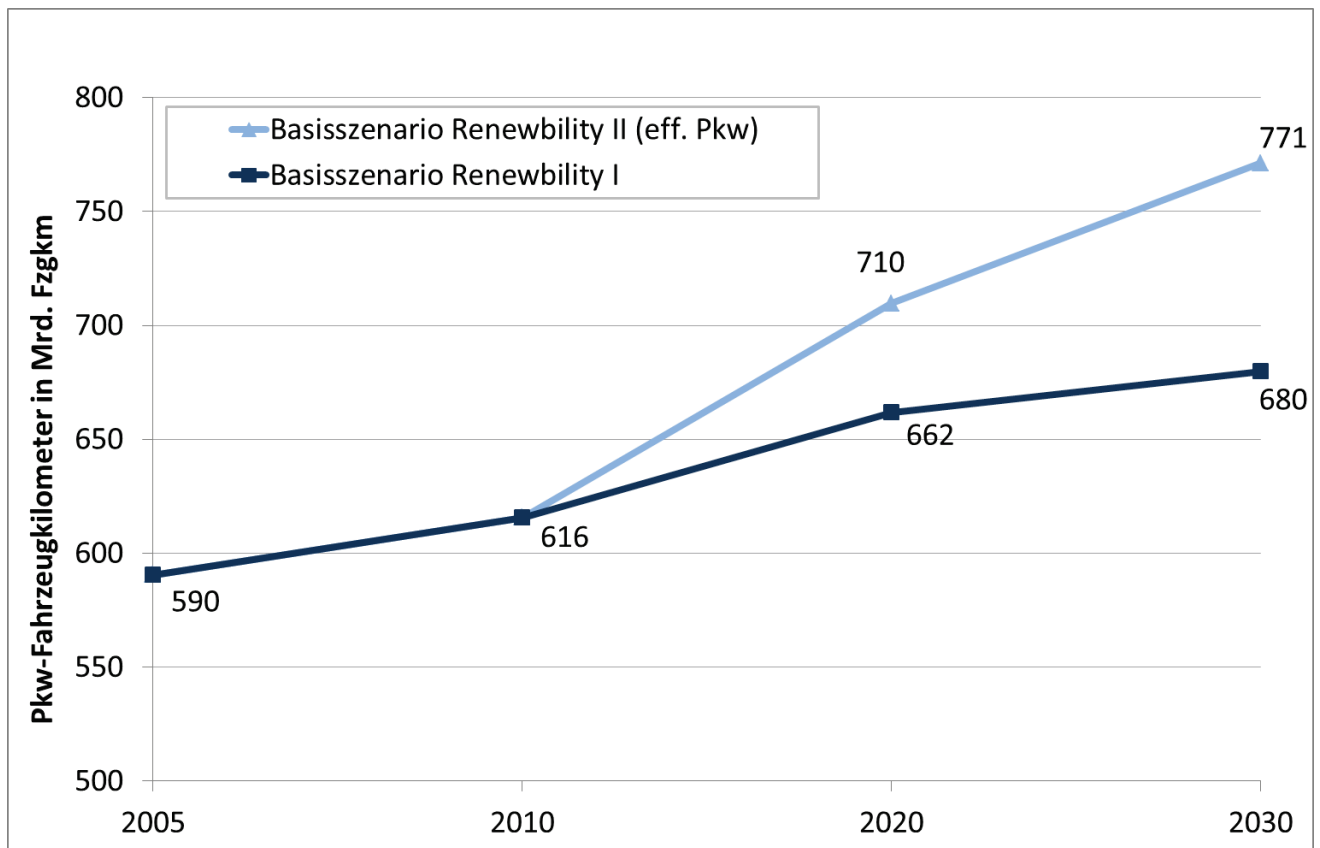


Abbildung 12: Pkw-Fahrleistungen im Basisszenario (Renewbility I und Renewbility II)

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung

Der genannte Anstieg der Pkw-Fahrleistung im Basisszenario von Renewbility II im Vergleich zum Basisszenario in Renewbility I weist auch ein Pendant bei der Entwicklung der Personenverkehrsleistung auf. Abbildung 13 stellt die Personenverkehrsleistungen der beiden Basisentwicklungen gegenüber. Klar ist auch hier zu erkennen, dass die Verkehrsleistung des MIV (in Personenkilometer) im Basisszenario von Renewbility II ansteigen – auch zu Lasten der mit dem ÖV zurückgelegten Personenkilometer.

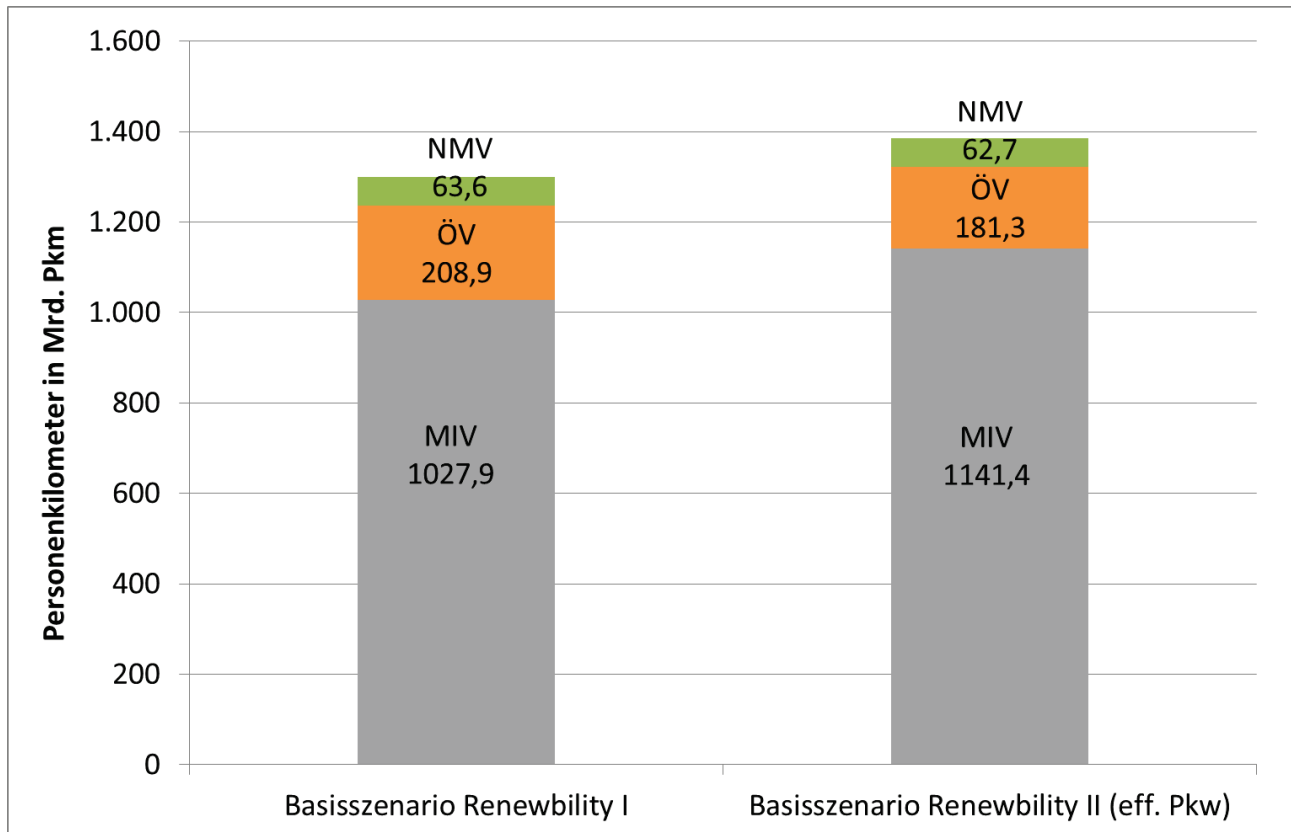


Abbildung 13: Personenverkehrsleistungen im Basisszenario (Renewbility I und Renewbility II)

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung

Güterverkehrsnachfrage im aktualisierten Basisszenario

Die Entwicklung der Lkw-Neuzulassungen bleibt im Basisszenario unverändert gegenüber Renewbility I. Sie steigen ausgehend von 255.000 Fahrzeugen im Basisjahr 2005 auf 295.000 Fahrzeuge im Jahr 2030 und nehmen damit um 16 % zu. Die Entwicklung der Neuzulassungen in den Jahren nach 2008 hat keinen Einfluss auf die in Renewbility I angenommene langfristige Trendfortschreibung (vgl. Abbildung 14). Obwohl sich die Anzahl der jährlichen Lkw-Neuzulassungen stark an der wirtschaftlichen Entwicklung orientiert, waren die Schwankungen seit 1990 bereits so stark, dass die Änderungen des Jahres 2008 in der Trendfortschreibung generell berücksichtigt sind – zumal das Vorkrisenniveau nach drei Jahren wieder übertroffen wurde. Somit stellt die Finanz- und Wirtschaftskrise eine Schwankung dar, die den betrachteten Trend langfristig nicht beeinflusst.

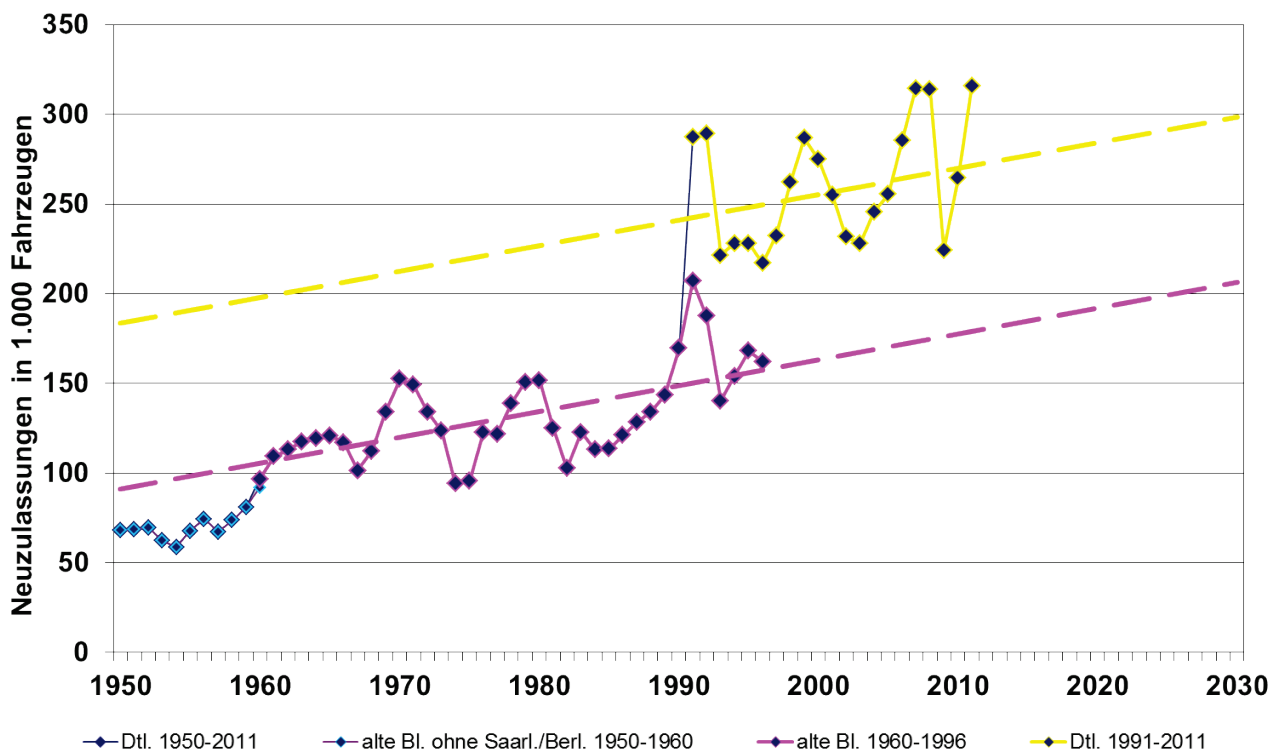


Abbildung 14: Trend der Lkw-Neuzulassungen bis 2030

Quelle: eigene Berechnung nach KBA / aktualisierte Darstellung Renewbility I

Tabelle 9 gibt die Ergebnisse der Trendfortschreibung differenziert nach Größenklassen für die Fortschreibungsjahre wieder. Die Anzahl der leichten Nutzfahrzeuge sowie die nicht mautpflichtigen schweren Lkw und Sattelzugmaschinen respektive Gliederzüge nehmen zu. Gründe für den Anstieg liegen in der Zunahme der Kleinteiligkeit der Sendungsstruktur sowie in der Containerisierung des Güterverkehrs bei allgemein wachsendem Transportaufkommen.

Tabelle 9: Trendfortschreibung der Lkw-Neuzulassungen nach Größenklassen

Jahr	gesamt	<3,5 t	3,5–7,5 t	7,5–12 t	>12 t	SZM/GLZ
2005	255.358	170.926	21.838	8.253	6.783	47.558
2010	270.164	181.508	20.753	8.427	6.572	52.904
2020	283.572	187.338	16.969	11.127	5.963	62.175
2030	295.552	191.423	14.318	13.827	5.535	70.449

Quelle: Eigene Berechnung (Renewbility I)

Die Modelle zur Bestimmung des Güterverkehrsaufkommens wurden entsprechend des in Renewbility I etablierten Instrumentariums eingesetzt. Zusätzlich wurde das Güterverkehrsmodell mit dem ökonomischen Modell ASTRA-D gekoppelt, so dass veränderliche ökonomische Größen im Güterverkehrsmodell berücksichtigt werden können (siehe Kapitel 2.4.2).

Aufgrund der Berücksichtigung der Wirtschaftskrise erfolgte eine Änderung der Parameterwerte des Güterverkehrsmodells zur Modellierung der Basisentwicklung der Verkehrsnachfrage. Aktualisiert wurden die von ASTRA-D modellierten Parameter Tonnage, Beschäftigtenstruktur und Bevölkerung. Damit ergibt sich in Renewbility II ein verändertes Basisszenario gegenüber Renewbility I.

Der Modal Split der Verkehrsträger im Güterverkehr blieb im Basisszenario von Renewbility I und Renewbility II unverändert, da es keine kostenseitigen oder infrastrukturellen Änderungen gegenüber Renewbility I gab, die Einfluss auf den Modal Split hätten nehmen können. Als Ergebnis der Modellierung von ASTRA-D und dem Güterverkehrsmodell sinken unter der Berücksichtigung der Finanz- und Wirtschaftskrise das Güterverkehrsaufkommen und die Güterverkehrsleistung in Renewbility II gegenüber Renewbility I um 8 % auf ein Niveau von jeweils 92 % im Jahr 2030.

Die Reduktion der Verkehrsnachfrage und die veränderten sozio-ökonomischen Eingangsgrößen der Basisentwicklung wirken sich auch auf die Lkw-Fahrleistung aus. Als Ergebnis der Modellierung sinkt diese um etwa 9,5 % im Jahre 2030 gegenüber der in Renewbility I modellierten Entwicklung ohne Berücksichtigung der europäischen Wirtschafts- und Finanzkrise (siehe Abbildung 15).

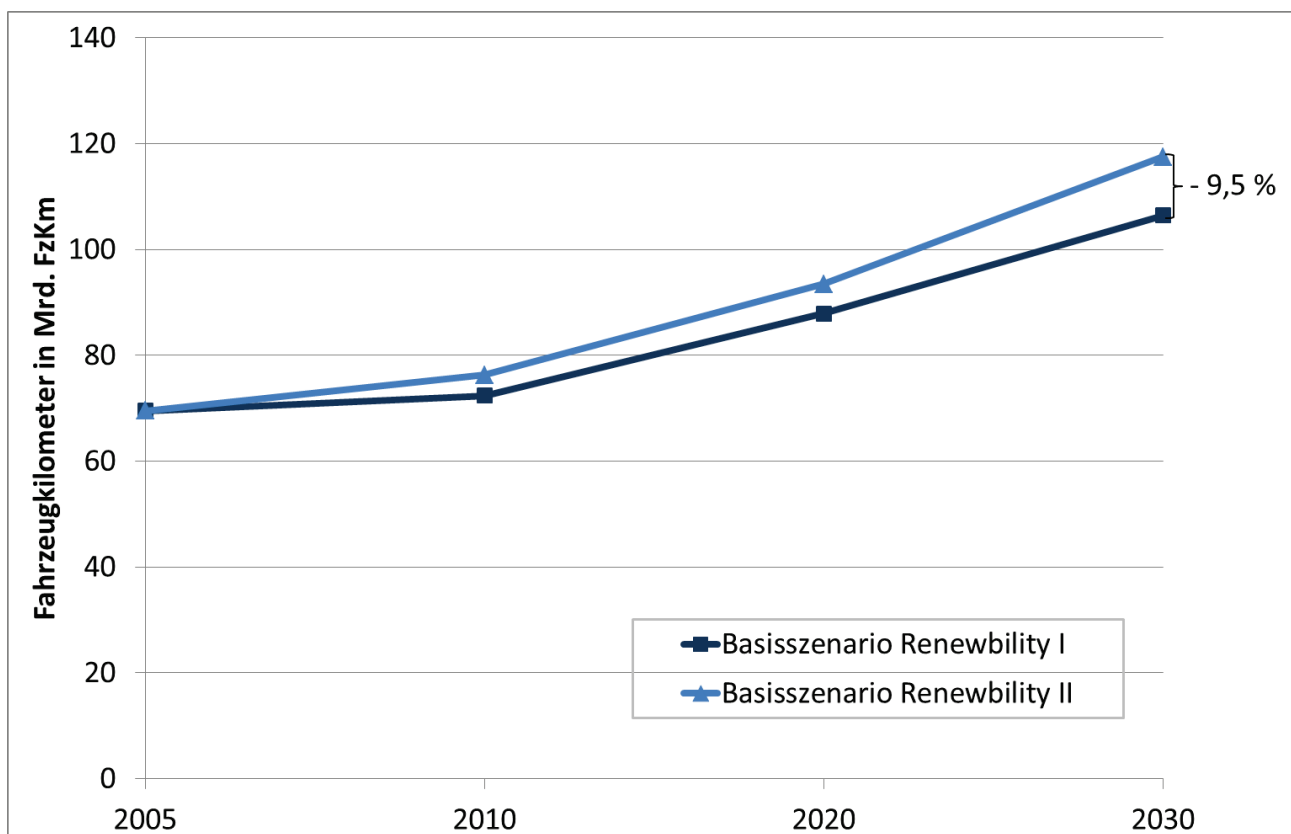


Abbildung 15: Basisentwicklung der Fahrleistung im Straßengüterverkehr, Vergleich von Renewbility I und Renewbility II¹²

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung

¹² Das Basisszenario in Renewbility II berücksichtigt hierbei die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009.

Bei der Fahrleistung des Schienenverkehrs ergab sich im Vergleich der beiden Basisszenarien von Renewbility I und Renewbility II eine ähnliche Veränderung. Die Fahrleistung auf der Schiene sank um 9,4 % im Jahr 2030. Bei der Binnenschifffahrt ist dieser Vergleich der Fahrleistungen aufgrund der im Kapitel 2.4.2 beschriebenen Modellanpassungen nur bedingt aussagefähig, da es modellbedingt bereits Abweichungen gab. Diese Abweichung ist von 2005 bis 2030 degressiv und geht um mehr als 10 % zurück. Dies bedeutet, dass sich der Abstand der im jeweiligen Basisszenario kalkulierten Werte von 2005 bis 2030 verringert; dies ist mit einem Rückgang der Fahrleistung der Binnenschifffahrt bei Renewbility II gegenüber Renewbility I gleichzusetzen.

3.2.1.4 Zusammenfassung: Veränderte Rahmendaten und deren Auswirkungen im Basisszenarios

Veränderte Rahmendaten

Im Projekt Renewbility II orientiert sich die Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Basisszenario zwar an der Verkehrsprognose 2025 (IPT, BVU 2007), jedoch werden aktualisierte Prognosen zur Entwicklung sozio-ökonomischer Rahmendaten berücksichtigt. Neben der aktuellen Bevölkerungsprognose, die von einem stärkeren Bevölkerungsrückgang bis zum Jahr 2030 ausgeht, wirkt sich insbesondere ein langsames Wirtschaftswachstum, welches aus der Wirtschafts- und Finanzkrise resultiert, auf eine veränderte Verkehrsnachfrage aus.

Ökonomische Modellierung

Die Entwicklung der Arbeitsproduktivität sowie Investitionsmultiplikatoren, Multiplikatoren des technischen Fortschritts und Export- und Importentwicklung wurden im Modell ASTRA-D an die aktualisierten wirtschaftlichen Rahmendaten angepasst und die sektoralen Beschäftigungsgrößen zusätzlich noch regional differenziert.

Verkehrsnachfrage Personenverkehr

Auf die Personenverkehrsnachfrage wirkt sich im Basisszenario neben einer Veränderung der Bevölkerungs- und Erwerbstätigenzahl, die Berücksichtigung aktueller Daten zum Verkehrsverhalten aus der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ sowie die Berücksichtigung der EU-weit gültigen CO₂-Emissionsstandards für Pkw-Neuzulassungen aus. Letztere führen zu einer stärkeren Effizienzsteigerung von Pkw, die sinkende Kilometerkosten zur Folge hat und zu einem – über den in der Verkehrsprognose 2025 hinausgehenden – Anstieg der Pkw-Fahrleistung führt.

Verkehrsnachfrage Güterverkehr

Die Verkehrsleistung des Güterverkehrs im Basisszenario ergibt sich aus der Anpassung der Tonnage, der Beschäftigungsstruktur und der Bevölkerungsentwicklung an die langfristigen Effekte der vergangenen Wirtschaftskrise. Im Ergebnis ergibt sich im aktualisierten Basisszenario ein geringeres Verkehrsaufkommen, welches zu einer geringeren Verkehrsleistung im Güterverkehr gegenüber der Verkehrsprognose 2025 führt.

3.2.2 Klimaschutzszenario

3.2.2.1 Vorgehen

Die Entwicklung des Klimaschutzszenarios in Renewbility II stand unter der Maßgabe, ein konsistentes Maßnahmenbündel zu entwerfen, das einen möglichst hohen Klimaschutzbeitrag des Verkehrssektors bis 2030 ermöglicht und dabei die im Klimaschutzszenario von Renewbility I erzielte Minderung der Treibhausgasemissionen übertrifft. Das neu entwickelte Klimaschutzszenario baut auf dem aktualisierten Basisszenario auf und zeigt mögliche Wirkungen von zusätzlichen Maßnahmen bzw. veränderten Rahmenbedingungen im Verkehr.

Die Szenarioentwicklung wurde maßgeblich von den beteiligten Stakeholdern gestaltet. Die Auswahl und Ausgestaltung der Maßnahmen für das Klimaschutzszenario wurde in einem mehrstufigen Prozess vorgenommen. Auf Grundlage einer fachlichen Auseinandersetzung mit der Wirkung von Einzelmaßnahmen überführten die beteiligten Stakeholder schließlich ein konsistentes Bündel an Maßnahmen in ein gemeinsames Klimaschutzszenario. Dieses erhebt den Anspruch, ein schlüssiges Klimaschutzszenario für den Verkehr und die Energiebereitstellung in Deutschland bis 2030 darzustellen und die Wechselwirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zu berücksichtigen. Gegenüber Renewbility I wurden die Handlungsoptionen insbesondere um Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung ergänzt. Zusätzlich wurden bereits berücksichtigte Maßnahmen teilweise noch ambitionierter ausgestaltet. So wurde im Bereich der technischen Fahrzeugeffizienz eine über das Renewbility I-Klimaschutzszenario hinausgehende Entwicklung unterstellt. Im Güterverkehr wurden neben der stärkeren Ausprägung bereits etablierter Maßnahmen, wie der Lkw-Maut und einer Optimierung von Logistikprozessen, ergänzend die verstärkte Förderung des kombinierten Verkehrs sowie der Einsatz von 25-Meter-Lkw und Tempobegrenzern berücksichtigt. Im Personenverkehr wurden in Erweiterung des Klimaschutzszenarios aus Renewbility I zusätzlich die Förderung des Fahrradverkehrs, die Einführung eines Tempolimits auf Bundesautobahnen sowie der Wegfall der Pendlerpauschale als ergänzende Maßnahmen betrachtet. Darüber hinaus wurde für das Jahr 2030 ein im Vergleich zu Renewbility I leicht erhöhter Biokraftstoffanteil angenommen.

Das neu konzipierte Klimaschutzszenario ist als konsistentes Bild eines Pfades bis 2030 zu verstehen, jedoch nicht als Politikempfehlung der beteiligten einzelnen Akteure. Im Folgenden werden die Maßnahmen des Renewbility II-Klimaschutzszenarios im Einzelnen vorgestellt und deren Umsetzung im Modell erläutert. In Kapitel 3.3 werden die Ergebnisse des Klimaschutzszenarios im Vergleich zur Basisentwicklung in Renewbility II für zentrale Größen, wie den Fahrzeugbestand, die Verkehrsnachfrage, die Endenergienachfrage und die Treibhausgasemissionen des Verkehrs sowie für ökonomische Indikatoren diskutiert.

3.2.2.2 Maßnahmen im Klimaschutzszenario

Folgende Maßnahmen sind Bestandteil des Renewbility II-Klimaschutzszenarios:

Ausweitung des ÖPNV-Angebots

Zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV wurde eine regional differenzierte Ausweitung des ÖPNV-Angebots im Szenario vorgesehen. Grund für diesen Vorschlag war, dass in Renewbility I die Wirkung für die drei Beispielräume deutliche Unterschiede aufwies. Die

Angebotsausweitung umfasst grundsätzlich sowohl die Erhöhung der Betriebsleistung und damit einhergehend eine Taktverdichtung und Reisezeitverkürzung als auch begleitende Maßnahmen (Ampelvorrangschaltung, Linienoptimierung, Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeiten durch Einführung einer eigenen Busspur). Wie die Ergebnisse von Renewbility I zeigten, kann eine Ausweitung des ÖPNV Angebots besonders in verdichteten Räumen zu einem Modalwechsel führen. Es wurde daher in den verdichteten Räumen eine Angebotserhöhung um 25 % umgesetzt. Für urbane Räume, die in der Regel bereits über einen gut ausgebauten ÖPNV verfügen, wurde ein Weiterausbau des Angebots in Höhe von 8 % vorgesehen. Es ist davon auszugehen, dass eine stärkere Ausweitung nur geringe zusätzliche Vorteile bei vergleichsweise hohen Zusatzkosten erzeugt. Analog zu den Agglomerationsräumen wurde auch im ländlichen Raum eine Steigerung des Angebots um 8 % umgesetzt. Sie dient primär dazu, die generelle Anbindung zu verbessern anstatt eine Taktverdichtung in den Vordergrund zu stellen, auch im Hinblick auf bedarfsgerechte Bedienformen. Eine stärkere Angebotsausweitung erschien vor dem Hintergrund eines hohen Kostenaufwands bei gleichzeitig vorhersehbar nur geringer Nachfragesteigerung unplausibel.

Umsetzung der Maßnahme:

Zur Integration der Maßnahmenwirkung einer Ausweitung des ÖV-Angebotes wurde auf die Arbeiten des am Vorgängerprojekt beteiligten Institutes für Verkehrsströmungslehre der Technischen Universität Dresden zurückgegriffen. Wie auch in Renewbility I wurden mit Hilfe des Linienoptimierungsmodells LINOP die Auswirkungen eines entsprechenden Angebotsausbaus in den Untersuchungsräumen ermittelt. Die daraus resultierenden Veränderungen der komplexen Reisezeiten, d.h. der Zugangs-, Abgangs-, Warte- sowie eigentlichen Reisezeiten, wurden dann bei der Berechnung der Verkehrsmittelanteile im Mikromodell TAPAS berücksichtigt. Die beobachteten Änderungen des Modal Splits wurden sodann differenziert nach Untersuchungsraum in das Deutschlandmodell übertragen und dort zur Berechnung der resultierenden Gesamtänderungen genutzt.

Eine Übersicht des Zusammenspiels der Modellkomponenten TAPAS und LINOP bietet Abbildung 16; eine detaillierte Beschreibung des Zusammenspiels findet sich im ersten Teil des Endberichtes des Vorgängerprojektes (Öko-Institut, DLR-IVF, 2009:37ff). Im zweiten Teil des Endberichtes (S. 27ff) wird umfassend auf die Modellierung der Angebotsausweitung und die resultierenden Reisezeitveränderungen eingegangen.

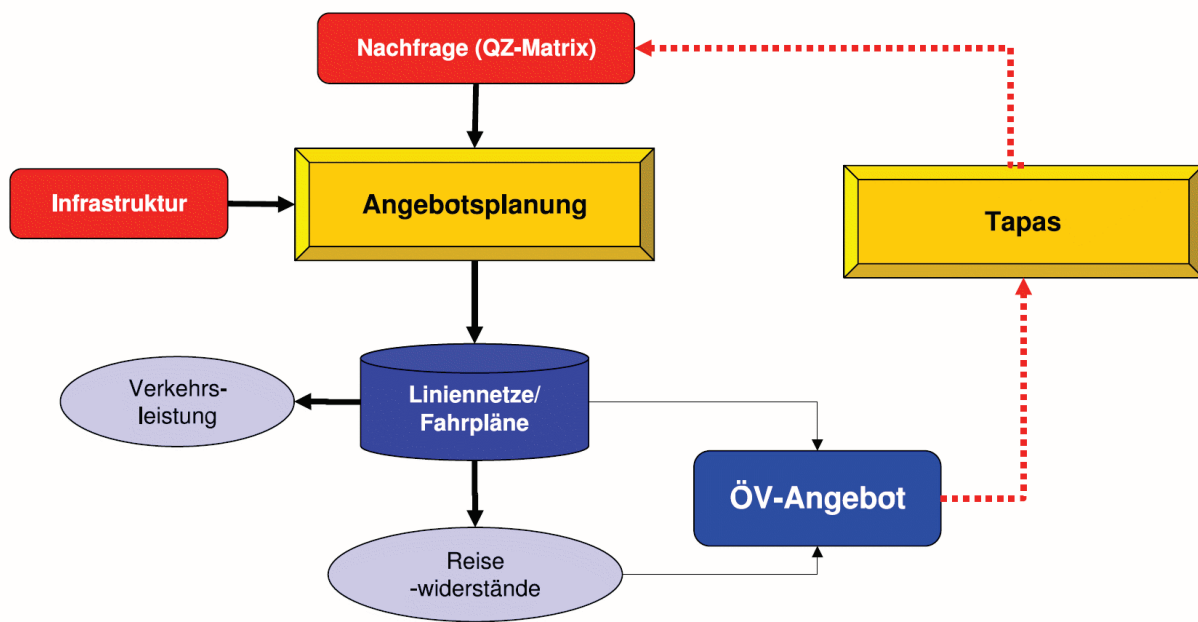


Abbildung 16: Zusammenwirken von Angebotsplanung (LINOP) und TAPAS

Quelle: Nachtigal 2006, S. 4

Begleitende Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität des ÖV

Neben einer Ausweitung des Angebots wurde der ÖPNV durch „flankierende“ Maßnahmen weiter unterstützt. Diese zielen vor allem darauf ab, die Zugänglichkeit und Nutzbarkeit des ÖPNV zu verbessern. Dazu zählen Maßnahmen zur Überbrückung der „letzten Meile“ oder zur Reduzierung von Nutzungsbarrieren. Es wurde ein Maßnahmenbündel integriert, das Bike-and-Ride, Parkraummanagement, unterstützende Maßnahmen bei der Bereitstellung von Tickets, die Förderung von Jobtickets und die Integration von Tickets mit anderen, verwandten Diensten wie Carsharing oder Fahrradverleihsystemen enthält.

Umsetzung der Maßnahme:

Um die Maßnahmenwirkung in den Modellen berücksichtigen zu können, wurden verschiedene Maßnahmen analysiert und die Wirkungen auf Basis wissenschaftlicher Studien sowie eigenen Expertenwissens quantifiziert. Bei der Wirkung des Maßnahmenbündels auf die Verkehrsnachfrage wurden Unterschiede geltend gemacht in Abhängigkeit von z.B. Wegelängen oder genutztem Verkehrsmittel. Auch wurden die Raumkategorien beachtet, da nicht alle Maßnahmen in allen Räumen als sinnvoll erachtet wurden (z.B. Umsetzung eines Carsharing ausschließlich in urbanen Räumen).

Die Berücksichtigung einer Zunahme der Nutzung von Carsharing und ähnlichen Diensten (z.B. car2go) erfolgt, neben der Revision vorliegender Studien, zu Teilen über Annahmen, da keine umfassenden Datengrundlagen vorlagen, die eine exakte Quantifizierung der Nutzungsakzeptanz ermöglichen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass CarSharer insgesamt einen geringeren Anteil der Wege mit dem Auto zurücklegen als Personen, die einen privaten Pkw besitzen. Dies begründet sich u.a. darin, dass die Grenzkosten der Nutzung, die bei „geteilten Fahrzeugen“ einen Fixkostenanteil enthalten, höher sind als bei einem Pkw in privatem Besitz.

Anhand der vorliegenden Datenquellen erfolgte eine für das gesamte Maßnahmenpaket gebündelte Ableitung der Wirkmächtigkeit, die ebenfalls Wechselwirkungen mit der darüber hinaus im Szenario vorgesehenen Förderung der Fahrradnutzung berücksichtigt und an dortiger Stelle vertieft ausgeführt wird.

CO₂-Emissionsstandard Pkw und Elektromobilität

Der im Basisszenario berücksichtigte EU-weite CO₂-Emissionsstandard für Pkw wird im Klimaschutzszenario bis zum Jahr 2030 ambitionierter fortgeschrieben. Darüber hinaus wird ein zunehmender Anteil von Elektrofahrzeugen in die Betrachtung aufgenommen. Der im Basisszenario enthaltene CO₂-Emissionsstandard von 80 g/km im Jahr 2030 wird im Klimaschutzszenario auf 60 g/km abgesenkt, was für Deutschland wegen einer vom EU-Durchschnitt abweichenden Flottenstruktur einen Zielwert von 70 g/km bedeutet. Abgeleitet wurde der EU-Grenzwert aus dem Progress-Report der EU-Kommission, in dem 70 g/km in 2025 als Vorschlag seitens des Europäischen Parlaments angegeben sind. Würde dieser Wert bis 2030 fortgeschrieben, läge der Zielwert entsprechend bei 60 g/km für die EU-weiten Pkw-Neuzulassungen im Jahr 2030.

Umsetzung der Maßnahme:

Der schärfere CO₂-Emissionsstandard im Klimaschutzszenario beeinflusst die Neuzulassungsstruktur der Pkw (siehe Abschnitt 2.4.1). Im Neuzulassungsmodell wird die Erreichung des Zielwerts durch eine – gegenüber dem Basisszenario – weitere Verschiebung hin zu effizienteren Fahrzeugvarianten je Segment erreicht. Zudem wird die Zielerreichung durch einen wachsenden Anteil von Elektrofahrzeugen, sowohl rein batterieelektrischen (in den Segmenten klein und mittel) als auch Plug-In-Hybrid-Pkw (in allen Segmenten), realisiert, deren elektrischer Fahranteil in der Regulierung als emissionsfrei definiert ist. Die berücksichtigte Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen im Renewability-Klimaschutzszenario beruht auf den Ergebnissen des Projekts OPTUM (Öko-Institut, ISOE 2011). Bis zum Jahr 2030 steigt der Bestand an Pkw mit elektrischem Antrieb auf knapp sechs Millionen Fahrzeuge. Den Hauptanteil daran stellen mit 87 % Plug-In-Hybrid-Pkw (PHEV). Die übrigen 13 % sind batterieelektrische Fahrzeuge (BEV). Diese zeichnen sich durch eine unterdurchschnittliche Jahresfahrleistung aus. PHEV erbringen etwa zwei Drittel ihrer Fahrleistung im elektrischen Fahrmodus. Der Strombedarf von Elektrofahrzeugen wird durch den zusätzlichen Ausbau von erneuerbaren Energien sichergestellt.

Eine gegenüber dem Basisszenario weitere Segmentverschiebung von großen zu kleinen Fahrzeugen wird im Klimaschutzszenario nicht angenommen.

CO₂-Emissionsstandard leichte Nutzfahrzeuge + Elektromobilität

Für leichte Nutzfahrzeuge wird der EU-weit gültige CO₂-Emissionsstandard für 2020 von 147 g CO₂/km berücksichtigt und mit 110 g CO₂/km bis 2030 fortgeschrieben (Basisszenario: 140 g CO₂/km). Bezogen auf die deutsche Bestandsstruktur bedeutet dies einen Zielwert von 133 g CO₂/km im Jahr 2030 und eine Effizienzsteigerung gegenüber 2010 von 44 %. Neben dem Einsatz von effizienten konventionellen Fahrzeugen trägt auch der verstärkte Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen zur Zielerreichung bei.

Umsetzung der Maßnahme:

Durch die gegenüber der Basisentwicklung verschärfte Ausgestaltung des CO₂-Emissionsstandards nach 2020 verändert sich die Neuzulassungsstruktur der leichten Nutzfahrzeuge. Um den Zielwert im Klimaschutzszenario zu erreichen, kommen daher über das Lkw-Käufermodell (siehe auch Kapitel 2.4.2) nach 2020 neben effizienten konventionellen Fahrzeugen zunehmend auch leichte Nutzfahrzeuge mit elektrischem Antrieb zum Einsatz, deren elektrischer Fahranteil ebenfalls als emissionsfrei in die Berechnung des Flottenwertes eingeht.

Analog zu Handhabung bei den Pkw wird die Annahme getroffen, dass der zusätzliche Strombedarf ebenfalls durch den entsprechenden zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien garantiert wird.

Effizienzsteigerung Lkw

Die Potenziale zur Kraftstoffverbrauchsminderung bei Lkw beziehen sich auf die im Rahmen von Renewbility erarbeitete Technologiedatenbank (Öko-Institut, DLR-IVF 2009). Demnach ist eine Minderung des Energieeinsatzes bei Lkw ohne die Berücksichtigung von Hybrid-Konzepten von knapp über 30 % nach heutigem Kenntnisstand realisierbar.

Im Klimaschutzszenario wird daher eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs von neu zugelassenen Lkw gegenüber dem Basisjahr 2005 um 15 % bis zum Jahr 2020 und um 30 % bis 2030 unterstellt. Bisher bestehen keine rechtlich verbindlichen Anforderungen an den spezifischen Kraftstoffverbrauch von neu zugelassenen Lkw. Flankierend wird daher im Klimaschutzszenario angenommen, dass bis zum Jahr 2020 EU-weit ein genormtes Messverfahren zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs von Lkw existiert und verbindliche Effizienzanforderungen formuliert werden, die eine entsprechende Effizienzsteigerung bei Lkw sicherstellen.

Umsetzung der Maßnahme:

Gegenüber der Basisentwicklung wird im Klimaschutzszenario über das Lkw-Käufermodell eine höhere Anzahl an effizienteren Fahrzeugvarianten in den Verkehr gebracht, die sicherstellt, dass die formulierte Minderung des mittleren Kraftstoffverbrauchs über alle Neuzulassungen eines Jahres sichergestellt wird.

Effizienzsteigerung Bus

Gemäß der Renewbility-Technologiedatenbasis ist eine Effizienzsteigerung von knapp über 30 % bei Reisebussen und bis zu 40 % bei Linienbussen, die hybridisiert im Stadtverkehr eingesetzt werden, bis zum Jahr 2030 und gegenüber dem Basisjahr 2005 technisch umsetzbar. Analog zu Lkw, existieren bisher keine EU-weiten Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch sowie kein genormtes Messverfahren für Busse.

Unter der Annahme einer entsprechenden Regulierung wird im Klimaschutzszenario eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs von neu in den Verkehr gebrachten Bussen gegenüber 2005 von 15 % bis 2020 und 30 % bis 2030 unterstellt.

Umsetzung der Maßnahme:

Der Bestand an Bussen wird im Renewbility-Bestandsmodell nicht explizit betrachtet (Kapitel 2.3.3), sondern lediglich auf Systemebene differenziert nach Reise- und Linienbussen dargestellt

und durch ein mittleres Fahrzeug für die Betrachtungsjahre repräsentiert. Der Einsatz von zunehmend effizienteren Neufahrzeugen wird entsprechend unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Bestandszugehörigkeit von Bussen berücksichtigt, so dass sich die Effizienzverbesserung bei Neufahrzeugen jeweils zeitlich verzögert in den Eigenschaften des repräsentativen Bestandsfahrzeugs niederschlägt.

Effizienzsteigerung Schienenfahrzeuge

Das Potenzial zur Minderung des Energieverbrauchs bei Schienenfahrzeugen orientiert sich an den Vorarbeiten zu Effizienztechnologien im Rahmen von Renewbility I (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 1).

Im Klimaschutzszenario wird die Annahme getroffen, dass sich der Energiebedarf von neu zugelassenen Schienenfahrzeugen durch die Förderung entsprechender Technologien bis zum Jahr 2020 um 15 % und bis 2030 um 35 % gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 verringert.

Umsetzung der Maßnahme:

Die Umsetzung erfolgt analog zum Vorgehen für Busse, da auch Schienenfahrzeuge lediglich auf Systemebene betrachtet werden (Kapitel 2.3.3). Im Modell wird jedoch zwischen Güter- sowie Nah- und Fernverkehrszügen, sowie dem elektrischen und dem Dieselantrieb unterschieden. Der Einsatz effizienterer Neufahrzeuge schlägt sich, wie auch bei Bussen, zeitlich verzögert in den Eigenschaften des jeweils repräsentativen Bestandsfahrzeugs nieder.

Ausgestaltung der Kraftstoffpreise und Umstellung der Mineralölsteuer

Für die Jahre 2020 bzw. 2030 wurde ein Anstieg der Preise für konventionellen Ottokraftstoff auf 2,00 bzw. 2,50 €₂₀₁₀ je Liter (real, inklusive Steuern, bezogen auf den Wert des Euro im Jahr 2010) unterstellt. Flankierend wurde angenommen, dass sich die Kraftstoffpreise auf internationaler Ebene ähnlich entwickeln und sogenannter „Tanktourismus“ vermieden werden kann. Die Berechnung der Mineralölsteuer wird ab 2020 zu je 50 % auf die Treibhausgasintensität bzw. den Energiegehalt des Kraftstoffs bezogen, wobei Ottokraftstoff als Referenz dient.

Der Steuersatz für die THG-Intensität beträgt:

- 2020: 0,16 €cent₂₀₁₀/g THG-Emissionen
- 2030: 0,21 €cent₂₀₁₀/g THG-Emissionen

Der Steuersatz für den energiebezogenen Anteil am Steuersatz beträgt:

- 2020: 5,29 €cent₂₀₁₀/kWh
- 2030: 6,99 €cent₂₀₁₀/kWh

Das hat zur Folge, dass sich das Preisverhältnis Ottokraftstoff/Dieselmkraftstoff verschiebt und Dieselmkraftstoff im Jahr 2030 mit 2,69 €₂₀₁₀/Liter um 19 Cent über dem von Benzin liegt. Der Steueranteil am Kraftstoffpreis steigt von aktuell etwa 50 % bis zum Jahr 2030 auf 66 %.

Die Steuer auf Fahrstrom steigt zwischen 2020 und 2030 um den Faktor 2,5 an. Der Strompreis für Elektrofahrzeuge erhöht sich dadurch von 0,223 €₂₀₁₀/kWh auf 0,358 €₂₀₁₀/kWh in diesem Zeitraum.

Tabelle 10: Entwicklung der Kraftstoffpreise im Klimaschutzscenario von Renewbility II

		2020	2030	Einheit
Kostenentwicklung inkl. Steuern	Benzin	2,00	2,50	€/l
	Diesel	2,14	2,69	€/l
	Fahrstrom	22,25	35,80	€cent/kWh
Kostenentwicklung ohne Steuern	Benzin	0,74	0,85	€/l
	Diesel	0,77	0,89	€/l
	Fahrstrom	13,40	12,60	€cent/kWh
Steueranteil mit THG-Bezug	Benzin	0,47	0,62	€/l
	Diesel	0,51	0,67	€/l
	Fahrstrom	0,01	0,01	€cent/kWh
Steueranteil mit Energiebezug	Benzin	0,47	0,62	€/l
	Diesel	0,53	0,70	€/l
	Fahrstrom	5,29	17,47	€cent/kWh

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung

Umsetzung der Maßnahme:

Durch die Kombination der Kraftstoffkostenentwicklung mit der jeweiligen Fahrzeugeffizienz lassen sich die Kilometerkosten für den Betrieb des jeweiligen Fahrzeugtyps bestimmen. Sowohl in der Personen- als auch in der Güterverkehrsnachfragemodellierung geht diese Größe als ein zentraler Entscheidungsparameter für die Modal-Wahl ein. Sinkt beispielsweise der Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen stärker als der Kraftstoffpreis ansteigt, so sinken die Kilometerkosten und die Attraktivität des Verkehrsmittels steigt.

Gleichzeitig wird auch auf der Ebene der Neuzulassungsmodellierung die Fahrzeugwahl durch die Kraftstoffpreisentwicklung beeinflusst. Steigen beispielsweise die Kraftstoffpreise, so wird der Kauf von effizienteren Fahrzeugen mit höheren Anschaffungskosten attraktiver.

Beimischung von Biokraftstoffen

Der Anteil der Beimischung von Biokraftstoffen zum konventionellen Kraftstoff erhöht sich (energiebezogen) bis 2020 auf 10 % und bis 2030 weiter auf 20 %. Er entspricht damit dem Verlauf im Basisszenario. Ergänzend werden jedoch weitere soziale und ökologische Kriterien voraus-gesetzt, z. B. die Nutzung degradierter Anbauflächen, die Verwendung biogener Abfall- und Reststoffe sowie höhere Löhne für Beschäftigte. Bis zum Jahr 2030 werden Biokraftstoffe der ersten Generation überwiegend durch Kraftstoffe der zweiten Generation mit deutlich geringeren Vorkettenemissionen ersetzt.

Umsetzung der Maßnahme:

Durch den zunehmenden Einsatz von nachhaltig erzeugten Biokraftstoffen reduzieren sich die Treibhausgasemissionen der Flüssigkraftstoffe im Klimaschutzscenario. Diese Annahme wird in der Stoffstromanalyse (Kapitel 2.5) bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die Well-to-Wheel-bezogenen THG-Emissionen der Biokraftstoffe sowie die des Mixes von fossilen und biogenen Otto- und Dieselmotorkraftstoffen im Klimaschutzszenario.

Bei nachhaltig erzeugten Biokraftstoffen (gekennzeichnet durch das Kürzel „sustain“) sinken die THG-Emissionen durch den Anbau auf degradierten Flächen auf negative Werte, da hier der Bodenkohlenstoff durch den Anbau mehrjähriger Pflanzen erhöht wird (positiver dLUC).

Die fossilen Otto- und Diesel-Kraftstoffe mit Biokraftstoff-Beimischung sind im Jahr 2030 praktisch gleich emissionsintensiv, da im Klimaschutzszenario die günstigen Biodiesel-Werte sich stark auf den THG-Wert des Diesel-Mix auswirken.

Tabelle 11: Gesamte THG-Emissionen für Kraftstoffe (inkl. Nutzung) im Klimaschutzszenario von Renewbility II

Fahrzeug	THG-Emissionen [g/MJ _{end}]		
	2010	2020	2030
Benzin (inkl. Bio)	84,2	76,7	68,9
EtOH-Weizen	50,4	42,5	
EtOH-Zuckerrübe	29,7	25,3	
EtOH-Zuckerrohr-sustain	33,2	-6,4	-5,9
EtOH-2G-Stroh		9,1	8,3
EtOH-2G-Zuckerrohr-sustain			-3,4
Diesel (inkl. Bio)	84,0	75,1	68,9
AME	8,5	8,5	
Rapsöl	51,7		
RME	57,5	57,5	
PME-sustain	62,0	-61,4	-62,5
SME-sustain	22,1	21,1	
BtL-Wald-DE		6,6	5,0
BtL-KUP			7,3
BtL-Wald-CEE			8,8

Quelle: GEMIS 4.8¹³

Optimierung der Logistik

Hierunter werden alle Entwicklungen zusammengefasst, welche innerhalb des Speditions- und Transportgewerbes laufend stattfinden, damit die nachgefragten Dienstleistungen in diesem Wettbewerbsmarkt effektiv erbracht werden und dabei kontinuierlich die Effizienz erhöht wird. Die Quantifizierung erfolgt durch Expertenwissen unter Betrachtung der Entwicklung des Gesamtmarktes, der Teilmärkte (Spot-Markt, Kontraktlogistik, Systemverkehre, Werkverkehre) der technologischen Weiterentwicklung (z.B. IT-Anwendungen zu Disposition und

¹³ 1G = 1. Generation; 2G = 2. Generation; AME = Altfettmethylester; RME = Rapsölmethylester; PME = Palmölmethylester; SME = Sojaölmethylester; BtL = Biomass-to-Liquid; DE = Deutschland; CEE = Central/Eastern Europe

Fahrzeugsteuerung, e-freight) und der allgemeinen Rahmenbedingungen. Dazu zählen Verschiebungen der Transportmarktsegmente Werkverkehr hin zur Kontraktlogistik, die sich fortsetzende Verkleinerung von Sendungsgrößen und daraus resultierend eine Erhöhung des Güterverkehrsaufkommens im Segment Systemverkehr (Stückgutverkehr und Paketdienstleister), sowie alle durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechniken (IKT) möglichen Verbesserungen inkl. Frachtbörsen und Parkplatzdisposition, etc. Diese Maßnahmen werden auch mit Blick auf den Aktionsplan Güterverkehr und Logistik der Bundesregierung entwickelt, um die dort enthaltenen Verbesserungen für das Gewerbe zu berücksichtigen.

Als weitere Maßnahme wird die Optimierung von Logistiknetzwerken durch Treuhänder aufgenommen. Dadurch wird die Fracht netzwerkübergreifend allokiert und effizienter zwischen Quelle und Ziel transportiert werden, als es in abgegrenzten Logistik-Netzwerken geschieht. Die Prüfung der wettbewerbsrechtlichen Situation wird hier jedoch nicht durchgeführt bzw. es werden keine Konflikte unterstellt. Die grundsätzliche Wirkrichtung der Maßnahmen im Klimaschutzszenario, die im Rahmen der Logistikoptimierung eingebunden werden, ist eine Erhöhung der Auslastung von Fahrten und eine Verringerung der Anzahl von Leerfahrten.

Umsetzung der Maßnahme:

Die in Renewbility I entwickelte Methode, Abschätzung der Parameter durch Experten, wurde für die Implementierung der Maßnahme auch in Renewbility II angewandt. Im Güterverkehrsmodell gehen beim Straßengüterverkehr unter anderem die Auslastung der Fahrzeuge und die Anzahl der Leerfahrten als Folge von Ladungsfahrten zum nächsten Ladeort ein. Die Auslastung und die Leerfahrten sind die Parameter, welche von der Maßnahme Logistikoptimierung beeinflusst werden. Dazu wurden die spezifischen Einsatzmuster von Fahrzeugen betrachtet und die Entwicklung von Häufigkeit eines Fahrtenmusters und dem Auslastungsgrad von Experten der Logistikbranche unter Berücksichtigung der Logistikoptimierung in der Zukunft abgeschätzt (siehe (Öko-Institut, DLR-IVF 2009, Teil 2).

Durch die netzwerkübergreifende Optimierung wird nach Einschätzung der Experten die Auslastung der Tourenmuster 1, 2, 7 und 11 um je 10 % erhöht, während die weiteren Parameter unverändert gegenüber Renewbility I sind. Die genutzten Parameter sind in der Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Angenommene Gewichtungsfaktoren und Auslastungsgrade der Tourenmuster im Straßengüterverkehr

Tourenmuster	Gewichtung KBA Daten 2003	Gewichtung Basisszenario 2030	Gewichtung Optimierung Logistiknetzwerk 2030	Auslastung Basisszenario 2030	Auslastung Klimaschutz- Szenario 2030
01) Rechteckige Tour mit Ganzladungen (voll & Lang, leer & kurz, voll & lang, leer & kurz)	38,7	37,4	35	50	55
02) Teilladungstour (einsammeln, voll & lang, ausliefern)	7,7	7,9	9	50	55
03) Auslieferungstour (kurz, abnehmende Ladung, selten voll)	2,9	2,9	2	36,9	36,9
04) Auslieferungstour (kurz, abnehmende Ladung, häufiger voll)	8,2	9	10,5	36,9	36,9
05) Lokale Tour (kurz, viele Segmente, mal voller, mal leerer)	2,8	2,8	2	36,9	36,9
06) kurze paarige Direktfahrt (voll & kurz, voll & kurz)	7,2	7,2	8	39,2	39,2
07) lange paarige Direktfahrt (voll & lang, voll & lang)	4,2	4,5	6	50	55
08) kurze unpaarige Direktfahrt (voll & kurz, leer & kurz)	19,1	19	12	36,9	36,9
09) lange unpaarige Direktfahrt (voll & lang, leer & lang)	3,1	3	2	39,2	39,2
10) kurze Tour im Systemverkehr (eine Fahrt, kurz)	2,4	2,5	3,5	39,2	39,2
11) lange Tour im Systemverkehr (eine Fahrt, lang)	3,6	3,8	10	50	55

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung (Tourenbezeichnungen nach Liedtke 2005)

Förderung des Kombinierten Verkehrs und von Gleisanschlüssen

In Ergänzung zu Renewbility I wurden zwei neue Maßnahmen zur Veränderung des Güterverkehrs aufgenommen; eine zur Förderung des Kombinierten Verkehrs und eine zur Förderung des Neubaus bzw. des Ausbaus und der Reaktivierung von Gleisanschlüssen. Hintergrund dafür war, dass die Förderung von Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs (4. Fassung) am 31. Dezember 2011 auslief, im Rahmen des Aktionsplanes Güterverkehr und Logistik der Bundesregierung aber ab dem 1. Januar 2012 mit veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen fortgeschrieben wurde (BMVBS 2012). Unter anderem ist die Richtlinie um die Förderung von Schiene/Schiene- und Wasser-/Wasserstraße-Umschlägen erweitert worden. Dadurch sollen zukünftig zusätzliche Gütermengen für den Kombinierten Verkehr erschlossen werden. Da die neuen Förderkonditionen zum Zeitpunkt der Entscheidung im Projekt über die Szenarioausgestaltung noch nicht vorlagen, wurde im Modell eine eigene Ausgestaltung dieser Maßnahme realisiert. Die Fördermittel wurden gegenüber der 4. Fassung um 100 % auf 230 Mio. € p.a. mit einer Laufzeit bis 31. Dezember 2020 erhöht. Mit dieser Erhöhung wurde gleichzeitig davon ausgegangen, dass die Fördereffizienz abnimmt. Konkret bedeutet dies, dass gegenüber dem aktuellen Fördermitteleinsatz durchschnittlich 50 % mehr Fördervolumen notwendig ist, um zusätzliche Ladeeinheiten von der Straße auf die Schiene bzw. die Wasserstraßen zu verlagern. Diese geringere Fördereffizienz sollte die Inanspruchnahme der zur Förderung bereit gestellten Haushaltsmittel durch private Investoren sicherstellen.

Das Förderprogramm der Bundesregierung für Gleisanschlüsse lief zum 31. Dezember 2012 aus (BMVBS 2009). Auch hierzu wird die Maßnahme einer Fortsetzung bis zum 31. Dezember 2020 bei gleichzeitiger Verdoppelung des Budgets von aktuell 32 Mio. € p.a. auf 64 Mio. € p.a. bei gleichzeitiger Verringerung der Fördereffizienz (-50 %) angenommen.

Umsetzung dieser beiden Maßnahmen:

Die Integration dieser beiden Maßnahmen in die Güterverkehrsmodellierung erfolgte durch eine direkte Verlagerung von Güterverkehrsaufkommen, indem eine durch die eingesetzten Fördermittel erreichbare durchschnittliche Verlagerung auf Schiene und Binnenwasserstraßen beim Straßengüterverkehrsaufkommen abgezogen wurde. Grundlage dafür waren jeweils vom Projekt angeforderte Auswertungen des Eisenbahn Bundesamtes zu erreichten Verlagerungen bei den laufenden Förderprogrammen sowie Vortragsunterlagen (EBA 2010). Die Aufteilung des Zuwachses an Güterverkehrsaufkommen für die beiden Verkehrsträger Schiene und Binnenschiff erfolgte bei der Förderung von Gleisanschlüssen zu 100 % zugunsten des Schienengüterverkehrs sowie bei der Förderung der Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs zu 90 % zugunsten des Schienengüterverkehrs und zu 10 % zugunsten des Güterverkehrs mit Binnenschiffen.

Inwieweit insbesondere das Schienennetz das daraus resultierende zusätzliche Verkehrsaufkommen in den von den Kunden relevanten Zeitfenstern kapazitätsmäßig realisieren kann, wurde bei dieser Maßnahme nicht berücksichtigt. Hierzu wäre eine umfassende Modellerweiterung erforderlich gewesen, die im Rahmen von Renewbility II nicht vorgesehen war.

Lkw-Mauterhöhung

Durch eine Maut können verschiedene Wirkungen erreicht werden. Einerseits können die Kosten der Straßennutzung auf die Nutzer selbst umgelegt und damit die Finanzierung der Infrastruktur verbessert werden. Andererseits hat eine Maut auch eine lenkende Wirkung. Es treten sowohl Verlagerungseffekte zu anderen Verkehrsträgern, Vermeidungseffekte als auch Routenwahleffekte auf.

Für die Maßnahme der Lkw-Mauterhöhung wird eine sukzessive Steigerung des Mautsatzes von aktuell 0,17 €/km auf 0,50 €/km sowie eine Erweiterung auf alle Fahrzeugklassen > 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht (derzeit: ab 12 Tonnen) umgesetzt. Weiterhin wird die Maut in der Maßnahme auf allen Straßen erhoben und nicht wie derzeit in Deutschland praktiziert auf Bundesautobahnen beschränkt.

Umsetzung der Maßnahme:

Die Maut erhöht die Fahrkosten und hat damit langfristige Auswirkung auf den Modal Split. Die Fahrkosten sind Bestandteil der variablen Kosten und diese werden sowohl im Neuzulassungsmodell als auch bei der Berechnung der Güterverkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsträger in einer Elastizitätsrechnung im Modell berücksichtigt. Die Maßnahme verändert damit die Neuzulassungen von Lkw-Klassen bis 2030 und hat Einfluss auf die Wahl des Verkehrsträgers.

Darüber hinaus wurde die Maut im Netzmodell (VISUM) implementiert, da Wegekosten, neben Zeitkosten, ein Auswahlkriterium für die Routensuche sind.

25-Meter-Lkw

Die Modellierung einer Verlagerung von Transporten von den derzeitigen Standard 40 t Sattel- und Gliederzügen auf 25,25 Meter lange Lkw-Konfigurationen (kurz: 25-Meter-Lkw) mit ebenfalls 40 t zulässigem Gesamtgewicht begründet sich mit der Annahme, dass nur die Branchen, die vorrangig Volumengüter transportieren, davon profitieren werden. Es werden dabei nur die kurzfristig entstehenden Verlagerungseffekte von der Schiene auf die Straße abgebildet, die sich aufgrund des hohen Preis- und Leistungswettbewerbs zwischen Straßen- und Schienengüterverkehr ergeben. Neben diesen kurzfristigen Verlagerungen können auch langfristige Verlagerungseffekte des Güterverkehrs von der Schiene auf die Straße auftreten. Diese können sich infolge der Entwicklung neuer betrieblicher Logistikstrukturen oder dem Wegfall von Zugverbindungen aufgrund eines geringeren Ladungsaufkommens insbesondere im Kombinierten Verkehr ergeben. Diese langfristigen Verlagerungseffekte konnten in der vorliegenden Modellumgebung nicht berücksichtigt werden.

Für den 25-Meter Lkw ist zusätzlich ein 20 %iger Mautaufschlag als Teil dieser Maßnahme angenommen und als Eingangsgröße integriert worden.

Umsetzung der Maßnahme:

Zur Umsetzung der Maßnahme wurde im Neuzulassungsmodell eine neue Fahrzeugklasse eingefügt, so dass eine Marktdurchdringung des 25-Meter-Lkw im Lkw-Bestand abgebildet werden kann. Eine weitere Annahme ist, dass im Durchschnitt zwei 25-Meter-Lkw drei Sattelzüge ersetzen können (Keuchel et al. 2006).

Dazu wurden die neuen wirtschaftlichen Eigenschaften der Fahrzeugklasse beschrieben; dies betrifft insbesondere die Investitionskosten (Abschreibungen) bei Neukauf oder Umrüstung der Sattelzugmaschinen und die variablen Kostenbestandteile durch Kraftstoffverbrauch sowie einen zusätzlichen Mautaufschlag von 20 %.

Die Veränderung beim Güterverkehrsaufkommen der Verkehrsträger durch Änderungen der wirtschaftlichen Parameter wird in einer Elastizitätsrechnung modelliert.

Angenommen wird, dass das Fahrtenmuster des 25-Meter-Lkw äquivalent zu dem von Sattelzugmaschinen ist; weitere Annahme ist ein Fahrzeugeinsatz nur in Wirtschaftszweigen, die vorrangig Volumengüter transportieren, da das Gesamtgewicht gegenüber den Sattelzugmaschinen konstant ist. Die relevanten Wirtschaftszweige sind „Verkehr“ sowie die im Modell aggregierten Wirtschaftszweige im tertiären Sektor (E, J, K, L, M, N, O, P, Q) (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Relevante Abschnitte der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2003)

E	Energie- und Wasserversorgung
I	Verkehr und Nachrichtenübermittlung
J	Kredit- und Versicherungsgewerbe
K	Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen, a.n.g.
L	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung
M	Erziehung und Unterricht
N	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
O	Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen
P	Private Haushalte mit Hauspersonal
Q	Exterritoriale Organisationen und Körperschaften

Quelle: Klassifikation der Wirtschaftszweige; Statistisches Bundesamt 2003

Bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage wurde zweistufig vorgegangen. In einem ersten Schritt ist die Nachfrage wie gehabt auf Basis der Tonnage je Wirtschaftszweigs-Aggregat ohne 25-Meter-Lkw berechnet worden, wobei eine resultierende Anzahl von Fahrten auf Sattelzüge entfallen. Im zweiten Schritt sind, unter Berücksichtigung der realistischen Fahrleistung pro 25-Meter-Lkw (äquivalent zum Sattelzug) und der Anzahl der im Markt existierenden 25-Meter-Lkw (siehe Neuzulassungsmodell), die Sattelzugfahrten durch Fahrten mit dem 25-Meter-Lkw ersetzt worden. Dabei wurde ebenfalls ein Austauschverhältnis von drei Sattelzugmaschinenfahrten zu zwei 25-Meter-Lkw angesetzt.

Nutzung moderner Telematik und IT-Systeme

Der Einsatz von Telematik- und IT-Systemen führt zu einem verbesserten Verkehrsmanagement. Dynamische Ziel- und Routenführungssysteme, welche die aktuelle Verkehrssituation berücksichtigen, verringern die Stauhäufigkeit auf Autobahnen und mindern so den Kraftstoffverbrauch.

Umsetzung der Maßnahme:

Im Rahmen der Modellierung wird davon ausgegangen, dass ein Einsatz von Telematiksystemen den Stauanteil auf Bundesautobahnen deutlich reduziert. Auf Basis des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 2010) wurden die Fahrsituationen auf BAB mit einem hohen Stauanteil identifiziert und deren Anteil im Emissionsfaktor für den Autobahnanteil entsprechend reduziert. Für den Kraftstoffverbrauch der einzelnen Fahrzeugkategorien auf Bundesautobahnen bedeutet dies:

- Pkw: Minderung um 1,2 %
- Lkw: Minderung um 1,2 %
- Leichte Nutzfahrzeuge: Minderung um 0,3 %
- Reisebusse: Minderung um 1,6 %

Kraftstoffsparende Fahrweise

Eine zunehmende Verbreitung von verbrauchsarmer Fahrweise bei Pkw und Lkw wird durch die Ausgabe von Gutscheinen für Sprit-Spar-Trainings beim Kauf eines Neuwagens erreicht, den flächendeckenden Einsatz von Schaltanzeigen im Fahrzeug, günstigere Versicherungsprämien für Absolventen eines Sprit-Spar-Trainings und die Aufnahme entsprechender Richtlinien für den öffentlichen Dienst.

Umsetzung der Maßnahme:

Für Pkw wird eine langfristige Minderung um 7 % des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs durch kraftstoffsparende Fahrweise in Anlehnung an UBA (2010) und unter Berücksichtigung neuer Technologien wie Hybridisierung angenommen. Der Anteil an kraftstoffsparenden Fahrten steigt von 20 % in 2010 auf 50 % in 2030 an. Bei den Lkw sind die spezifischen Minderungsraten etwas höher. Außerdem wird ein höherer Umsetzungsgrad angenommen, da sich gezeigt hat, dass gerade im Kontext der Lkw-Nutzung eher Sprit-Spar-Trainings durchgeführt werden. Die Minderung bei Lkw durch kraftstoffsparende Fahrweise wird mit 8 % angesetzt, bei einem Anteil von 30 % (2010), 50 % (2020) und 70 % (2030) an der Gesamtfahrtenanzahl.

Im Rahmen der Stoffstrommodellierung wird bei der Bilanzierung des Endenergiebedarfs im Straßenpersonen- und Straßengüterverkehr bei der Berücksichtigung der Maßnahme im Klimaschutzszenario eine entsprechende Minderung des Kraftstoffeinsatzes berücksichtigt. Die Minderung bezieht sich dabei jeweils nur auf die gegenüber 2010 erzielte zusätzliche Beteiligung an Sprit-Spar-Trainings. Der spezifische Kraftstoffverbrauch von Pkw reduziert sich daher durch diese Maßnahme bis zum Jahr 2030 um 1,0 % und für Lkw um 5,6 %.

Bahnstrom aus erneuerbaren Energien

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bahnstrommix wird bis zum Jahr 2020 auf 30 % erhöht. Der zusätzliche Strombedarf nach 2020, der durch die Verkehrsverlagerung auf die Schiene entsteht, wird durch zusätzliche erneuerbare Energien gedeckt.

Umsetzung der Maßnahme:

Im Stoffstrommodell verringern sich durch den zunehmenden Einsatz von erneuerbaren Energien die Vorkettenemissionen des Bahnstrommixes bis zum Jahr 2020. Da der weitere – relativ geringe – Anstieg des Bahnstrombedarfs durch eine zunehmende Verkehrsverlagerung auf die Schiene nach 2020 mit einem zusätzlichen Ausbau von erneuerbaren Energien verbunden ist, findet nach 2020 praktisch kein weiterer Anstieg der Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs mehr statt (außer indirekte THG-Emissionen aus Anlagenbau).

Tempolimit auf Bundesautobahnen

Die Einführung eines Tempolimits von 120 km/h bis zum Jahr 2020 auf Bundesautobahnen führt im Klimaschutzscenario zu einer Minderung des mittleren Kraftstoffverbrauchs von Pkw auf Autobahnabschnitten ohne Geschwindigkeitsbeschränkung.

Umsetzung der Maßnahme:

Laut BAST (2010) besteht auf 65,5 % aller Autobahnkilometer keine Geschwindigkeitsbegrenzung. In Anlehnung an eine Studie des Umweltbundesamts (UBA 1999) wird im Klimaschutzscenario eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs von etwa 6,3 % auf Bundesautobahnen ab dem 2020 im Stoffstrommodell berücksichtigt. Dies bedeutet eine durchschnittliche Minderung des Kraftstoffverbrauchs von knapp 10 % auf Autobahnabschnitten, die bisher von einer Geschwindigkeitsbegrenzung ausgenommen sind.

Tempobegrenzer für Lkw

Der Kraftstoffverbrauch von Lkw kann durch Tempobegrenzer, welche die Maximalgeschwindigkeit eines Lkw beispielsweise von 88 auf 82 km/h drosseln, auf Bundesautobahnen gemindert werden. Diese Minderung beträgt etwa 7,2 % auf Bundesautobahnen (DVZ 2006).

Im Klimaschutzscenario wird die Annahme getroffen, dass bis zum Jahr 2020 75 % aller Lkw über entsprechende Tempobegrenzer verfügen, die die Maximalgeschwindigkeit insbesondere auf Bundesautobahnen auf 82 km/h reduziert.

Umsetzung der Maßnahme:

Im Stoffstrommodell wird bei der Quantifizierung des Endenergiebedarfs des Straßengüterverkehrs entsprechend ab 2020 eine zusätzliche Minderung des Kraftstoffverbrauchs von Lkw auf Bundesautobahnen um 5,4 %, bedingt durch den Einsatz von Tempobegrenzern berücksichtigt.

Abschaffung der Pendlerpauschale

Als zusätzliche Maßnahme wird davon ausgegangen, dass die Kilometerpauschale für berufsbedingte Fahrten entfällt. In Abhängigkeit vom Einkommen, der Entfernung zum Arbeitsort sowie den sonstigen Werbungskosten führt dies zu einer Kostenerhöhung der berufsbedingten Fahrten. Die Berücksichtigung der Maßnahme erfolgte bei der Modellierung der Personenverkehrsnachfrage. Dabei wurden Erwerbstätige berücksichtigt, die über ein überdurchschnittliches Einkommen verfügen. Für erwerbstätige Personen mit einem

Haushaltsnettoeinkommen ab 2.600 € erfolgte eine Erhöhung der variablen Kosten der Pkw Nutzung um 0,01 € pro gefahrenem Kilometer.

Umsetzung der Maßnahme:

Die genannte Steigerung der Kilometerkosten wurde bei der Berechnung der Nachfrage in den Untersuchungsräumen mit Hilfe des Mikromodells berücksichtigt und trug zu einer schwachen Reduktion der Attraktivität des MIV bei. Die resultierenden Veränderungen des Modal Split wurden anschließend im Deutschlandmodell zur Berechnung der Gesamtnachfrage verwendet.

Förderung Fahrradverkehr

Das Klimaschuttszenario beinhaltet des Weiteren eine deutliche Förderung des Fahrradverkehrs sowie eine verbesserte Integration des öffentlichen Personennahverkehrs mit den nicht-motorisierten Modi (siehe auch: begleitende Maßnahmen zur Förderung des ÖPNV). Eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen soll dazu führen, den Umweltverbund, bestehend aus Fuß- und Radverkehr sowie dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), zu stärken. Konkrete Maßnahmen betreffen den Ausbau von Fahrradinfrastruktur – beispielsweise Fahrradabstellplätze und Fahrradwege – die Einführung von öffentlichen Fahrradverleihsystemen, einen Abbau von Nutzungshemmnissen im ÖPNV – etwa durch Förderung von Bike-and-Ride – und die Einführung von Parkraumbewirtschaftung zur Reduzierung der Attraktivität des motorisierten Individualverkehrs (MIV). Die in den jeweiligen Untersuchungsräumen hinterlegten Maßnahmen variieren. So wird beispielsweise die deutschlandweite Einführung von öffentlichen Fahrradverleihsystemen in urbanen Gebieten hinterlegt. Für diesen Raumtyp liegt bisher die Mehrheit der Forschungsergebnisse vor. Dem gegenüber ist die Wirkung für den verdichteten Raum noch nicht wissenschaftlich fundiert ermittelt. Für ländliche Gebiete ist das System als eher ungeeignet zu erachten. Insgesamt zielen die beinhalteten Maßnahmen darauf ab, die Nutzbarkeit und Alltagstauglichkeit des Fahrrads zu erhöhen.

Umsetzung der Maßnahme:

Aufgrund der Schwierigkeit der Abschätzung der Maßnahmen (vgl. Santos et al. 2010, 59ff.), insbesondere in ihrem Zusammenspiel, erfolgt die Abschätzung der Maßnahmenwirkungen kombiniert, aber regional nach BBR-Raumtyp differenziert. Innerhalb dieser Raumtypen wird modellseitig nochmals nach der Besiedelungsdichte differenziert, um den raumstrukturellen Inhomogenitäten gerecht zu werden. Die Wirkungsabschätzungen basieren auf aktuellen Quellen, auf die an den jeweiligen Stellen hingewiesen wird. Zur Plausibilisierung werden die geschätzten Auswirkungen der Maßnahmenwirkungen mit den realen verkehrlichen Gegebenheiten verglichen, beispielsweise mit den als besonders fahrradfreundlich geltenden Städten Freiburg, Münster oder Kopenhagen.

Für Agglomerationsräume (BBR-Raumtyp 1) wurde angenommen, dass der Umweltverbund durch einen Ausbau der Fahrradinfrastruktur und einer Stärkung des öffentlichen Personennahverkehrs durch flankierende Maßnahmen eine signifikante Steigerung erfahren kann. Diese Annahmen stützen sich vorrangig auf die Arbeiten von Pucher et al. (2010), Bickelbacher (2002) und Martens (2007) sowie des ITDP (2011). Der Literatur folgend werden Verlagerungspotenziale von bis zu 50 % der bisherigen Wege des MIV zum Umweltverbund angenommen, wobei das Verlagerungspotenzial mit der Länge des Weges abnimmt (vgl.

Ahrens (2010), Umweltbundesamt (2010) und BMVBW (2002). Des Weiteren wird in Anlehnung an Martens (2007) eine durch Bike-and-Ride bedingte Zunahme des ÖPNV mit einbezogen. Im Vergleich mit der Entwicklung des Modal Splits in Kopenhagen, wo das Fahrrad auf Arbeitswegen mit einem Modalanteil von 37 % bereits das meistgenutzte Verkehrsmittel ist (vgl. City of Copenhagen (2008)), erscheint eine solche Betrachtung in der Summe realistisch.

Die folgenden Quantifizierungen wurden für die Agglomerationsräume verwendet:

- Bei Wegen bis 1 km Rückgang des Wegeanteils des MIV (inkl. Mitfahrer) um 60 %; Substitution dieser Wege zu gleichen Teilen durch Fuß- und Radverkehr,
- Bei Wegen von 1 bis 2 km Rückgang der MIV-Nutzung (inkl. Mitfahrer) um 50 %, mit Aufteilung der Wege zu jeweils gleichen Teilen auf den Radverkehr und den ÖPNV,
- Bei Wegen von 2 bis 5 km Rückgang der MIV-Wege (inkl. Mitfahrer) um 40 %, analog zu den Wegen von 1 bis 2 km zu gleichen Teilen substituiert durch Radverkehr und ÖPNV (für die drei voranstehenden Punkte vgl. Ahrens (2010:38), wobei die Wegelängenaufteilungen an die Modelle angepasst wurden).
- Zusätzlich bei den Wegen über 5 km Fahrtlänge eine durch Bike-and-Ride bedingte Zunahme um 20 % beim ÖPNV im Ausbildungs- und Berufsverkehr (vgl. Martens (2007)).

Für die verdichteten Räume (BBR-Raumtyp 2) existieren mit Münster und Freiburg in Deutschland Beispiele für Städte, in denen der Umweltverbund seit Jahrzehnten Förderung genießt und hohe Anteile erzielt (vgl. Pucher und Buehler (2008)). Die resultierenden Wegezahlen für Fahrradfahrer in Münster (Stand 2001: 35 %) und Freiburg (2007: 27 %) liegen weit über dem deutschen Durchschnitt in vergleichbaren Raumkategorien (MID 2008 verdichteter Raum: 10 %) bzw. Städten (Braunschweig 2008: 14 %). Steigerungen im Radverkehr auf ein Niveau der „fahrradstarken“ Städte werden als optimistisch, aber im Zuge einer konsequenten Förderung realisierbar angesehen. Bei der Abschätzung der Wirkung wird den raumstrukturellen Inhomogenitäten Rechnung getragen und die Siedlungsdichte mit einbezogen. Die endgültige Wirkungsabschätzung für Gebiete hoher Besiedlungsdichte orientiert sich an den Arbeiten des BMVBW (2002) zur Stadt Troisdorf und geht von nachfolgender Wirkmächtigkeit aus:

- Zunahme des Radverkehrs um 33 % bei den Wegen bis 5 km, die zu Lasten des MIV bzw. der MIV-Mitfahrer (zu gleichen Anteilen) gehen sowie Steigerung der Radwege im Bereich 5 bis 10 km um 20 %, beides in Anlehnung an BMVBW (2002:19).
- Zunahme der ÖPNV-Nutzung um 20 % durch Bike-and-Ride, allerdings lediglich bei den Ausbildungs- und Arbeitswegen, die für 80 bis 90 % der Nutzungsfälle von Bike-and-Ride verantwortlich sind (vgl. Martens 2007).

Für die Gebiete mittlerer bis geringer Besiedlungsdichte erscheint eine Auswahl an Maßnahmen sinnvoll, die auf eine bessere Integration und Erreichbarkeit des ÖPNV abzielen, ebenso wie die Förderung des Fuß- und Fahrradverkehrs im Bereich der Nahmobilität. Zugrunde gelegt werden die bereits benannten Annahmen aus Martens (2007), die eine Steigerung des ÖPNV zur Folge haben. Dazu kommen Ergebnisse des Modellvorhabens „Fußgänger- und Fahrradfreundliche Stadt“ (vgl. UBA 2006) und die dortigen Ergebnisse aus der Modellstadt Plauen, sodass für Gebiete mit mittlerer bis niedriger Besiedlungsdichte die folgende Wirkmächtigkeit abgeleitet wurde:

- Steigerung der Radverkehrsnutzung um 40 % in Analogie zu den in Plauen erzielten Zuwächsen (vgl. UBA 2006)

- Analog zu den Gebieten mit hoher Besiedelungsdichte eine Zunahme des ÖPNV durch Bike-and-Ride um 20 % bei Ausbildungswegen (vgl. Martens 2007).

Im ländlichen Raum (BBR-3) sind insbesondere in den Kreisen mit geringer Dichte nur geringe Effekte, in Kreisen höherer Dichte nur moderate Wirkungen durch eine verbesserte Erreichbarkeit des ÖPNV sowie eine verbesserte Radverkehrsinfrastruktur zu erwarten. Die Wirkungsabschätzung der ÖV-Erreichbarkeit stützt sich hierbei erneut auf Martens (2007), bei der Hinterlegung der Wirkung der Radverkehrsinfrastruktur erfolgt eine Orientierung an der Modellstadt Plauen (vgl. BMVBW 2002: 19). Die Wirkung wird im Modell nur für die vergleichsweise dichter besiedelten Gebiete des ländlichen Raums hinterlegt und entspricht derer für Gebiete mittlerer bis niedriger Besiedelungsdichte der BBR-2-Raumtypen.

Einen Gesamtüberblick über die in den einzelnen Raumtypen hinterlegten Maßnahmen gibt die nachfolgende Tabelle 14.

Tabelle 14: Maßnahmenumsetzung je Raumkategorie im Klimaschutzscenario

Maßnahme	BBR 1	BBR 2	BBR 3
Fahrradinfrastruktur (Radwege, Abstellplätze)	X	X	
Fahrradverleihsysteme	X	X	
Förderung Bike-and-Ride	X	X	X
Parkraumbewirtschaftung	X		

Quelle: eigene Darstellung

Die aufgezeigte Wirkungsableitung wurde bei der Berechnung der Personenverkehrsnachfrage im Mikromodell TAPAS berücksichtigt und wirkte direkt auf den Modal Split der dort ermittelten Wege. Eine Übertragung der Wirkung auf das Deutschlandmodell erfolgte anschließend kombiniert mit den Gesamtwirkungen des Maßnahmenbündels des Klimaschutzscenarios.

3.2.3 Ausgestaltung von Basis- und Klimaschutzscenario im Überblick

Die Gegenüberstellung der Maßnahmenauswahl und -ausgestaltung zeigt eine deutlich größere Vielzahl an Maßnahmen im Klimaschutzscenario im Vergleich zum Basisszenario von Renewbility II, sowie eine teilweise deutlich ambitioniertere Ausgestaltung der Maßnahmen (z.B. Erhöhung der Kraftstoffpreise, Fortschreibung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw) im Klimaschutzscenario.

In der folgenden Tabelle sind alle Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors nochmals im Vergleich von Basis- und Klimaschutzscenario im Überblick dargestellt. Die Darstellung unterscheidet zwischen Nicht-Berücksichtigung (–) und Berücksichtigung (x) sowie zwischen der Stärke der Maßnahmenausgestaltung. Stärker ausgestaltete Maßnahmen (xx) beziehen sich immer auf das Basisszenario als Vergleichsbasis und definieren sich anhand der Maßgabe eines möglichst großen Klimaschutzbeitrags des Verkehrs.

Tabelle 15: Überblick der Ausgestaltung von Basis- und Klimaschutzszenario¹⁴

Maßnahme	Basisszenario	Klimaschutzszenario
Steigerung ÖPNV-Attraktivität		
Ausweitung des ÖPNV-Angebots	–	x
Begleitende Maßnahmen	–	x
CO ₂ -Emissions- / Effizienzstandards		
Pkw u. Elektromobilität	x	xx
LNF u. Elektromobilität	x	xx
Lkw	x	xx
Bus	x	xx
Schienenfahrzeuge	x	xx
Optimierung Güterverkehr		
Weitere Optimierung der Logistik	–	x
Förderung Kombierter Verkehr und Gleisanschlüsse	–	x
Ausweitung Lkw-Maut	x	xx
25-Meter-Lkw	–	x
Tempobegrenzer	–	x
Kraftstoffe		
Biokraftstoffe	x	xx
Zunehmender EE-Anteil am Bahnstrom	–	x
Kraftstoffpreisanstieg	x	xx
Sonstige Maßnahmen		
Kraftstoffsparende Fahrweise	–	x
Zunehmender Einsatz von I- und K-Technologien	–	x
Tempolimit auf Autobahnen	–	x
Wegfall Pendlerpauschale	–	x
Förderung Fahrradverkehr	–	x

Quelle: eigene Darstellung

¹⁴ nicht berücksichtigte Maßnahme (–), berücksichtigt (x), in stärkerer Ausprägung berücksichtigt (xx)

3.3 Die Szenarioergebnisse

3.3.1 Fahrzeugmarkt und Verkehrsnachfrage

Die Entwicklung des Fahrzeugmarkts und der Verkehrsnachfrage beeinflussen die zukünftigen Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors. Mit Blick auf den Fahrzeugmarkt stellen insbesondere die Effizienzentwicklung und der Einsatz von alternativen Antrieben eine wesentliche Einflussgröße dar. Bei der Entwicklung der Verkehrsnachfrage ist neben der absoluten Verkehrsleistung auch der Modal Split von besonderer Relevanz.

3.3.1.1 Personenverkehr: Entwicklungen im Fahrzeugmarkt

Die Struktur der Pkw-Neuzulassungen hinsichtlich der Größenklassen verändert sich im Klimaschutzszenario gegenüber dem Basisszenario nicht. Allerdings werden deutlich mehr Fahrzeuge der effizienteren Varianten zugelassen. Während im Jahr 2020 noch weniger effiziente, kostengünstige Varianten in den Neuzulassungen enthalten sind, kommen im Jahr 2030 ausschließlich die effizienztesten Varianten 3 und 4 in den Markt, da sie die größte Verbrauchsreduktion ermöglichen. Die Erreichung der CO₂-Emissionsstandards wird jedoch erst durch die Verbreitung von Elektrofahrzeugen erreicht. Deren Anteil an den Neuzulassungen beträgt 2020 knapp 1 % für rein batterieelektrisch betriebene und knapp 7 % bei Plug-In-Hybriden (Öko-Institut, ISOE 2011). Für das Jahr 2030 wurden deutlich größere Anteile berechnet. Sie betragen gut 6 % (BEV) bzw. gut 27 % (PHEV). Insgesamt wird durch diese Entwicklung bei den Neuzulassungen eine Anzahl von etwa 6 Millionen Elektrofahrzeugen im Bestand 2030 erreicht, wovon 87 % Plug-In-Hybride sind und 13 % rein batterieelektrisch betriebene Pkw.

Die Berechnung der Energiesteuer im Szenario wird ab 2020 zu je 50 % auf die Treibhausgasintensität und den Energiegehalt der Kraftstoffe bezogen (mit Ottokraftstoff als Referenz). Hierdurch verschiebt sich das Endpreisverhältnis Otto/Diesel: Diesel ist in 2030 0,19 € teurer als Benzin. Fahrstrom wird für den energetischen Anteil der Kraftstoffsteuer ab dem Jahr 2030 mit dem Faktor 2,5 versehen. Da es sich um zusätzlichen EE-Strom handelt, ist der Steueranteil bezogen auf die Treibhausgasintensität nahezu Null. Abbildung 17 stellt die angenommenen Endpreise der Energieträger in Basisszenario und Klimaschutzszenario dar.

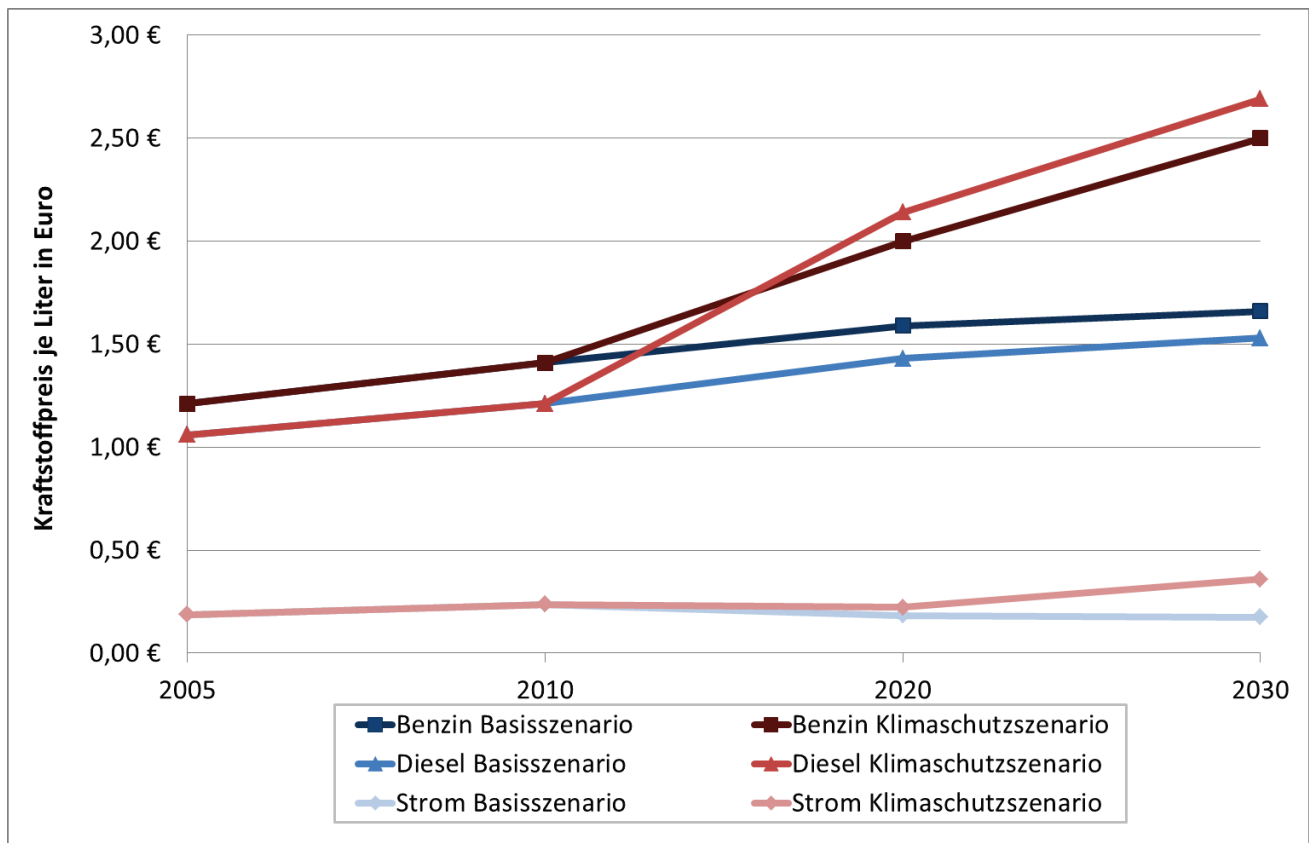


Abbildung 17: Entwicklung der Kraftstoffpreise in Euro pro Liter in Basis- und Klimaschutzszenario

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

In der Basisentwicklung führt der Anstieg der Kraftstoff- und Neuwagenpreise zu einer verstärkten Nachfrage von kleinen Pkw. Der Dieselanteil sinkt bis 2030 aufgrund des geringeren technologischen Effizienzpotenzials gegenüber der Ottomotor-Optimierung. Durch den angenommenen Zielwert von 95 gCO₂/km im Jahr 2020, welcher in der Basisentwicklung auch eingehalten wird, werden bereits hohe Effizienzvarianten und somit relativ niedrigere variable Kilometerkosten realisiert. Im Szenario bleiben die Segmentanteile klein/mittel/groß gegenüber der Basisentwicklung überwiegend konstant, eine geringe Abweichung ist durch einen noch stärker sinkenden Dieselanteil besonders im mittleren Segment geprägt.

Die Verteilung der Benzin/Diesel-Anteile verliert jedoch in 2030 an Bedeutung, da beide Antriebe fast die gleiche Effizienz erreichen. Zudem werden durch die strenge CO₂-Standardsetzung (70 g/km) ausschließlich die effizientesten Fahrzeugvarianten 3 und 4 nachgefragt. Zusammen mit der erwarteten Einführung von Elektrofahrzeugen (in Anlehnung an Öko-Institut, [ISOE 2011]) von 6,5 % reinen Batteriefahrzeugen (nur kleines und mittleres Segment, 0 g/km) und 24,9 % Plug-In-Hybridfahrzeugen (in den Segmenten klein/mittel/groß mit 33/41/55 g/km) wird somit der strengere CO₂-Emissionsstandard für das Jahr 2030 im Klimaschutzszenario eingehalten.

Durch diese Verschiebungen am Fahrzeugmarkt ergeben sich relevante Änderungen der durchschnittlichen Verbrauchswerte und – direkt resultierend – der variablen Wegekosten. Für die Modellierung der Verkehrsnachfrage ist vorrangig dieser variable Kostenanteil relevant, welcher in der Basisentwicklung ab 2010 dauerhaft sinkt. Im Klimaschutzszenario hingegen

steigt der Kostenanteil mit einem Höhepunkt im Jahr 2020. Insgesamt liegt damit das Kostenniveau im Klimaschutzscenario für das Jahr 2030 37 % über dem der Basisentwicklung.

3.3.1.2 Personenverkehrsnachfrage: Modellierung der Untersuchungsräume

Die Veränderungen der Pkw-Flotte und die daraus resultierende Änderung der sowohl Verbrauchs- als auch sonstigen nutzungsbezogenen Kosten der Pkw-Nutzung fanden ebenso wie die darüber hinaus im Klimaschutzscenario beinhalteten Maßnahmen Eingang in die detaillierte Abbildung der Verkehrsnachfrage mit Hilfe des mikroskopischen Personenverkehrsnachfragemodell TAPAS. Wie bereits in Renewbility I wurden die Maßnahmenreaktionen exemplarisch mit hohem Detaillierungsgrad für die Untersuchungsregionen Berlin (BBR 1: Agglomerationsraum), Braunschweig (BBR 2: verstädterter Raum) sowie Main-Rhön (BBR 3: ländlicher Raum) abgebildet und in ihrer Wirkung analysiert. Besonderer Fokus lag hierbei auf der Ermittlung der Veränderungen hinsichtlich des Wegeaufkommens, der Modalanteile sowie Reiseweiten, die nach Personengruppen differenziert für die einzelnen Untersuchungsräume ermittelt wurden.

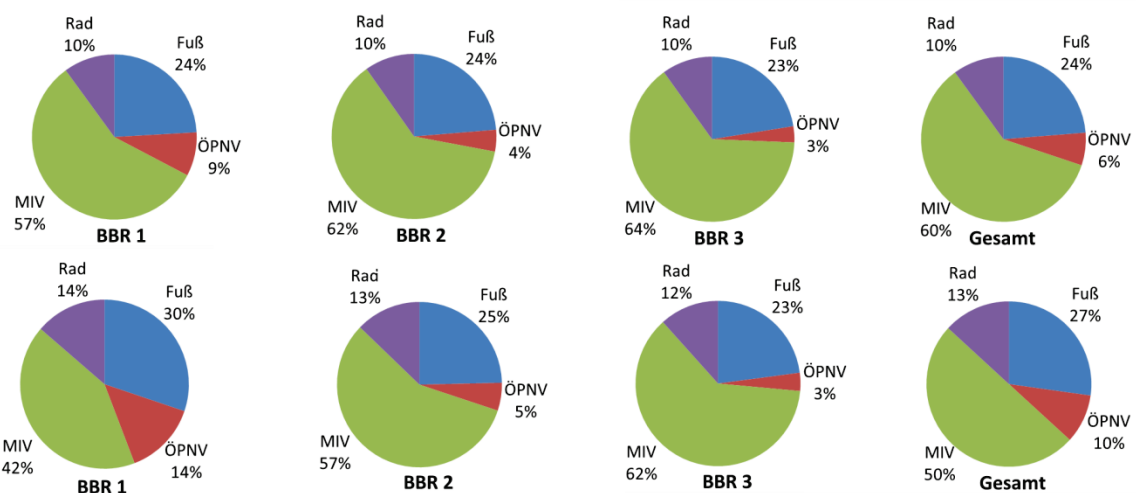


Abbildung 18: Modal Split im Basisszenario 2030 (obere Reihe) sowie im Klimaschutzscenario (untere Reihe) nach BBR-Raumtyp sowie gesamt

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

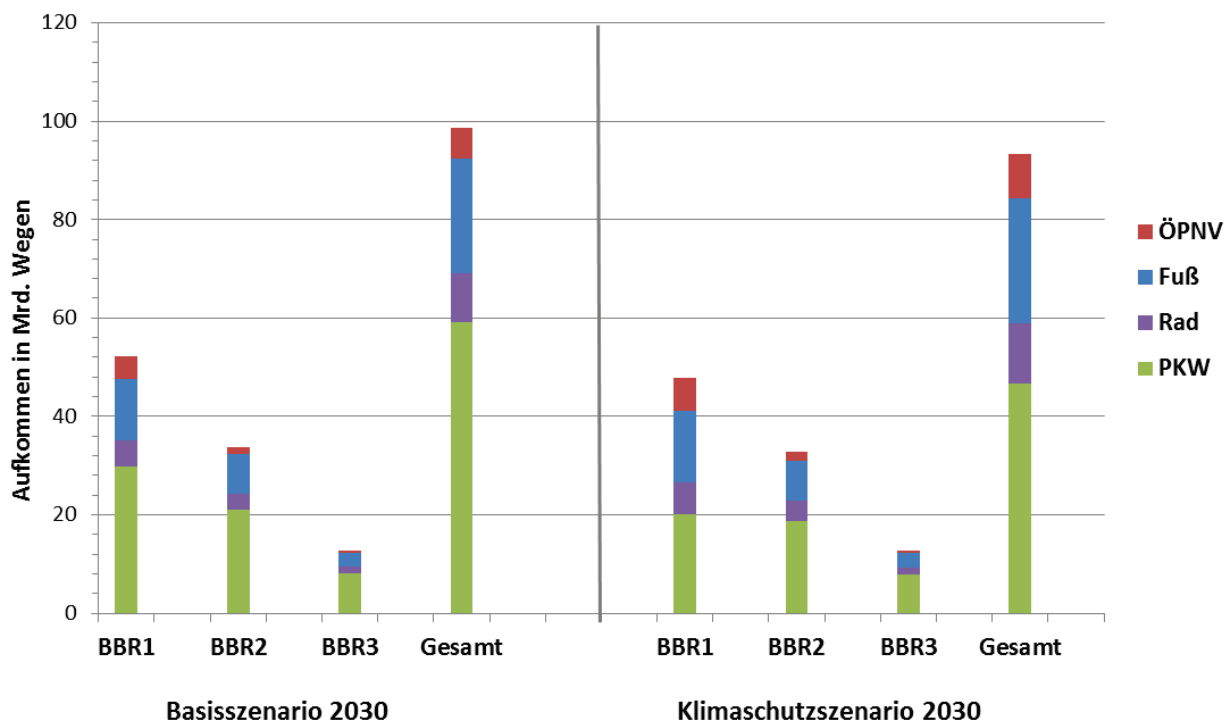


Abbildung 19: Wegeaufkommen nach Modus und BBR-Raumtyp im Basisszenario 2030 sowie im Klimaschutzszenario 2030

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

Die für die beispielhaften Untersuchungsräume ermittelten Wirkungen des Maßnahmenbündels wurden anschließend zur Berechnung der deutschlandweiten Wirkung an das makroskopische Personenverkehrsnachfragemodell übergeben. Hierbei wurden die mit Hilfe des Regionalmodells TAPAS ermittelten Wirkungen zur Berechnung der deutschlandweiten Wegeaufkommen, Modal-Anteile gemäß der bundesweiten Stärke der Bevölkerungsgruppen herangezogen und die resultierenden Personenverkehrs- und Fahrleistungen berechnet. Abbildung 18 stellt den Modal Split auf Deutschlandebene für das Basisszenario sowie das Klimaschutzszenario im Jahr 2030 dar. Bezugsgröße ist hierbei die Anzahl mit dem jeweiligen Modus zurückgelegter Wege. Insgesamt bewirken die im Klimaschutzszenario hinterlegten Maßnahmen eine Abnahme der Pkw-Nutzung als Fahrer oder Beifahrer von 60 % der Wege auf 50 % des Wegeaufkommens. Auf dieser Betrachtungsebene nehmen die Modalanteile von Rad, Fuß sowie ÖPNV in absoluten Prozentanteilen relativ gleichmäßig zu. Eine Betrachtung nach BBR-Raumtyp macht jedoch deutlich, dass diese Verlagerungswirkung insbesondere in den Agglomerationsräumen zu beobachten ist. Hier steigen die Anteile des NIMV sowie des ÖPNV besonders stark und erreichen gemeinsam einen Anteil von 64 % des Wegeaufkommens. Deutliche Zunahmen des Radwegeanteils lassen sich aber auch in den verstärkerten sowie ländlichen Räumen erkennen. Unter Berücksichtigung des Volumens des Wegeaufkommens in den einzelnen Raumtypen, die sich aus der dort lebenden Bevölkerungszahl ergibt, wird deutlich, dass insbesondere die Veränderung der Modalanteile in den Agglomerationsräumen (BBR 1) starke Auswirkungen auf die Gesamtzusammensetzung des deutschlandweiten Wegeaufkommens hat (vgl. Abbildung 19).

3.3.1.3 Personenverkehr: Entwicklungen der Fahr- und Verkehrsleistung

Die Veränderungen im Wegeaufkommen sowie im Modal Split wurden anschließend zur Berechnung der Personenverkehrsleistung (in Pkm) sowie der Fahrleistung (in Fzgkm) herangezogen. Abbildung 20 illustriert die Fahrzeugkilometer des Personenverkehrs für die Basisentwicklung unter der Berücksichtigung der effizienteren Pkw und somit geringerer Wegekosten in 2030 einerseits sowie bei den erzielten Maßnahmenwirkungen im Klimaschutzscenario. Deutlich zu erkennen ist eine Reduktion der Fahrleistung im Klimaschutzscenario um 23 % im Vergleich zur Basisentwicklung.

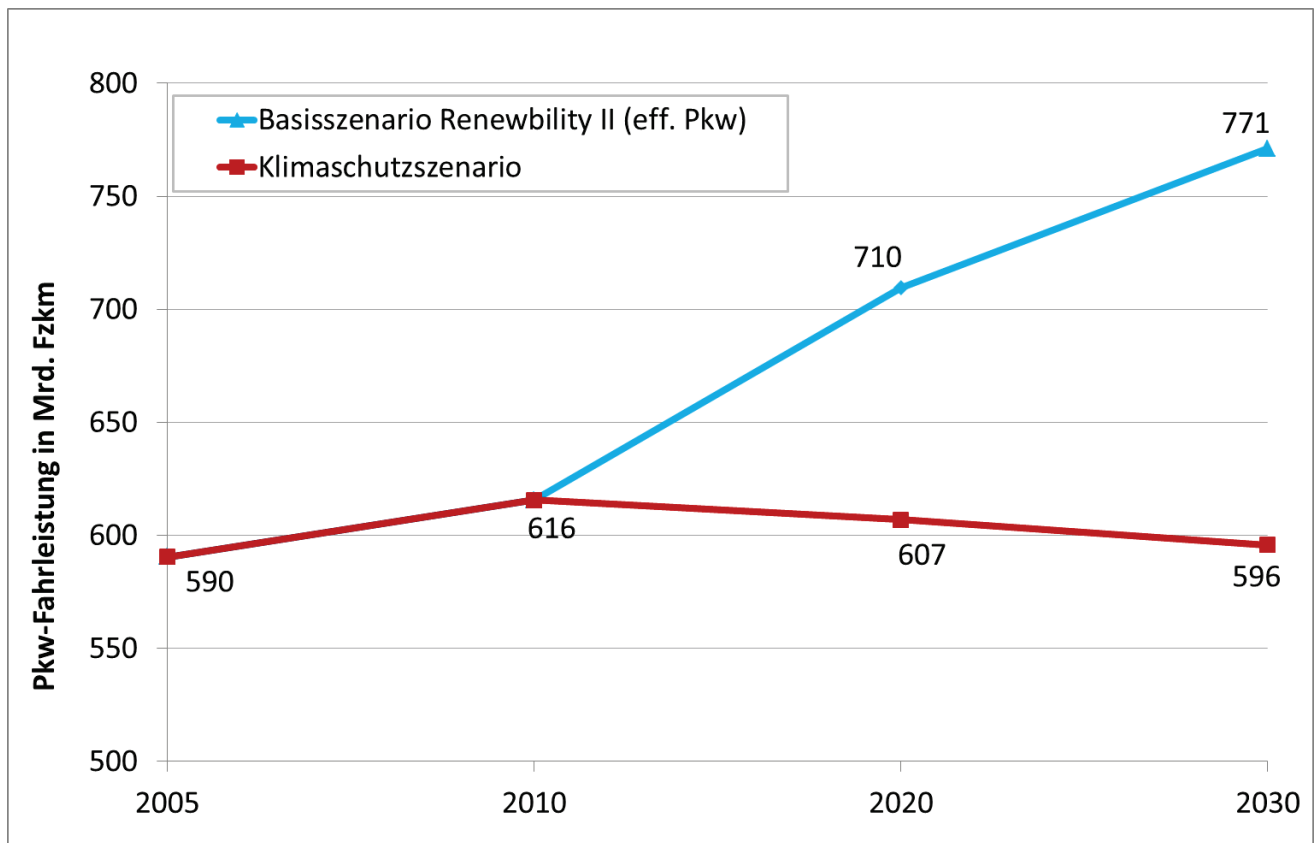


Abbildung 20: Pkw-Fahrleistung im Basisszenario sowie im Klimaschutzscenario

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

Das deutliche Absinken ist zurückzuführen auf die im Klimaschutzscenario um 37 % gestiegenen Pkw-Kilometerkosten (gegenüber der Basisentwicklung) und die starke Konkurrenz des ausgebauten ÖPNV, deren Wirkung sich bereits bei der Betrachtung der Wegeaufkommen und Modalanteile beobachten ließ. Mit dann ermittelten 595,8 Mrd. Fahrzeugkilometern erreicht die Fahrleistung, nach einem zunächst leichten Anstieg bis 2010, in etwa wieder das Ausgangsniveau von 2005.

Im ÖPNV orientiert sich die Fahrleistungsentwicklung im Basisszenario an den Effekten der Bevölkerungsentwicklung und zeigt entsprechend einen verstärkten Rückgang der Fahrleistung ab 2020 auf. Im Basisfall sinkt die ÖPNV-Fahrleistung deutlich, was vor allem auf die im

Basisszenario günstige Kostenentwicklung – und den damit attraktiven MIV – zurückgeht (siehe nachstehende Abbildung 21).

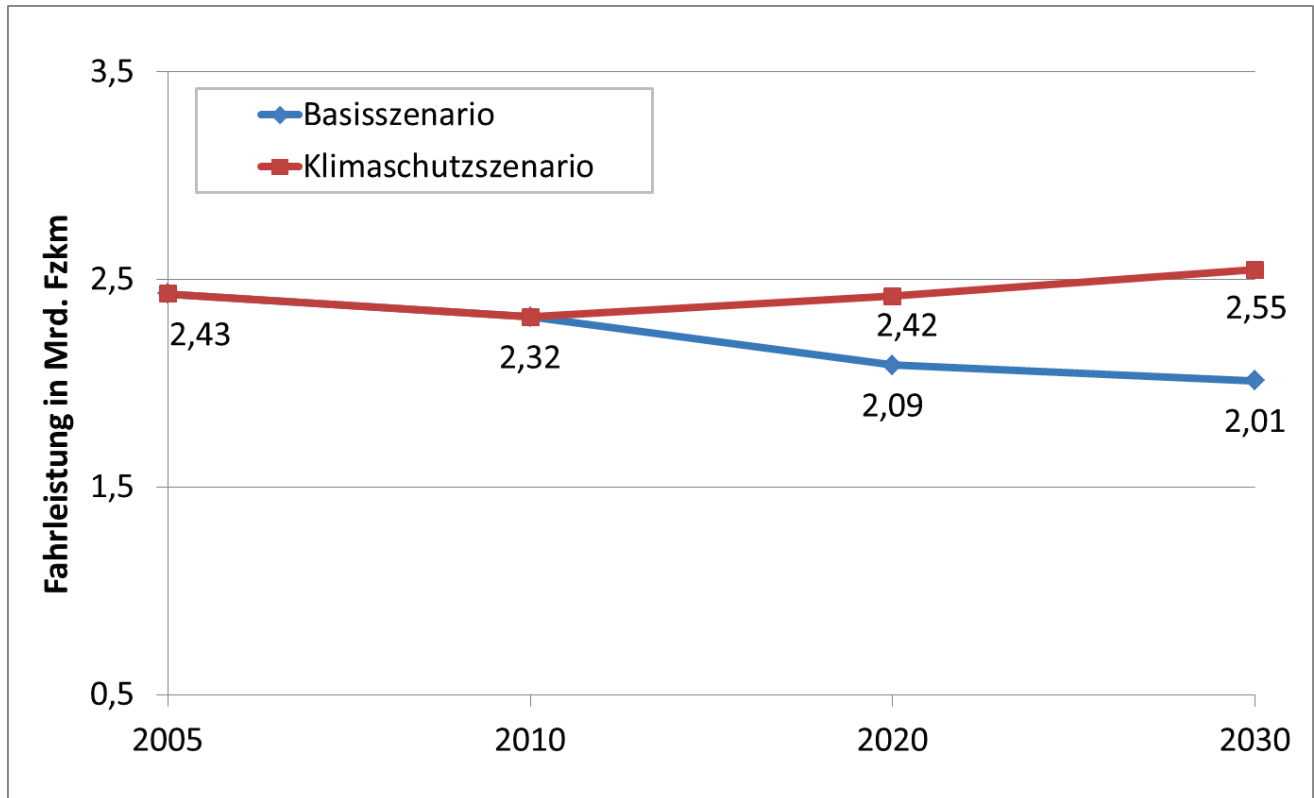


Abbildung 21: ÖPNV-Fahrleistung im Basisszenario sowie im Klimaschutzszenario

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

Die Zunahme der ÖPNV-Fahrleistung im Klimaschutzszenario (im Vergleich zur Basisentwicklung) um rund 27 % ist nur durch gezielte Angebotsförderung in den verstärkten Räumen bei gleichzeitigen finanziellen Anreizen (höhere Pkw-Wegekosten, geringere ÖPNV-Kosten) zu erzielen. Die Zuwächse im ÖPNV verstärken sich im Klimaschutzszenario ab 2020, da davon ausgegangen werden muss, dass erst ab diesem Zeitpunkt die Angebotssteigerungen voll implementiert sind. Gleichzeitig wirken die steigenden Pkw-Kosten bereits bis 2020 stark. Grund dafür sind die noch höhere Anzahl an „betroffenen“ Gruppen (höhere Anzahl an Erwerbstätigen) und die generell höhere Bevölkerungszahl als in 2030. Nach 2020 wirkt, wie oben beschrieben, der attraktivere, gut ausgebaute ÖPNV (siehe Maßnahmenbeschreibung in Kapitel 3.2.2.2), bei gleichzeitiger Abschaffung der Pendlerpauschale und den weiter steigenden Kosten der Pkw-Nutzung (stets zu sehen im Vergleich zur Basisentwicklung).

In der Gesamtheit führen die Entwicklungen im Klimaschutzszenario zu einer deutlich reduzierten Verkehrsleistung, wie in Abbildung 22 in der Einheit Personenkilometern illustriert ist.

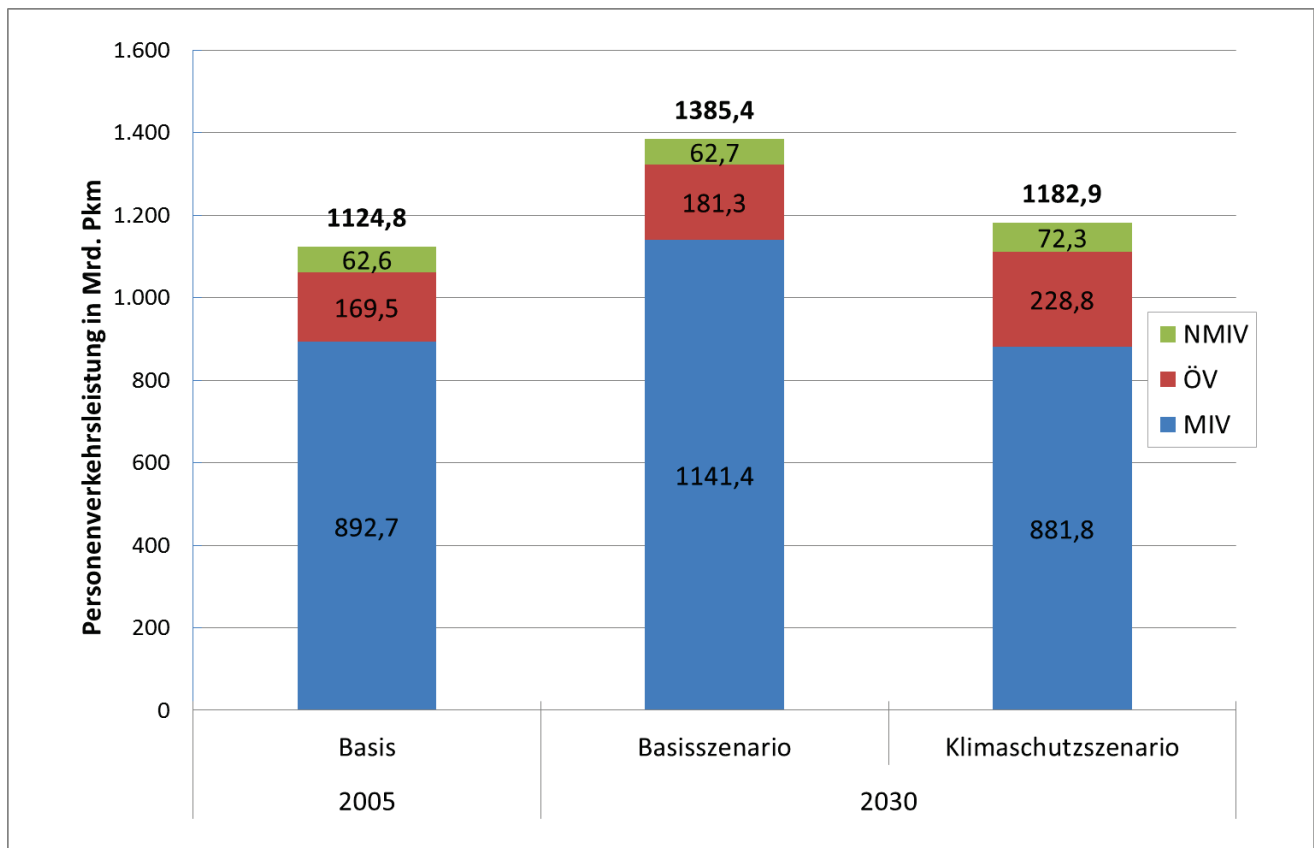


Abbildung 22: Personenverkehrsleistung im Basisszenario sowie im Klimaschutzszenario

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

Die Maßnahmen bewirken eine Verringerung der Pkw-Verkehrsleistung um über 20 %, der Umweltverbund aus öffentlichem Verkehr und nichtmotorisiertem Individualverkehr steigert seine Verkehrsleistung gleichzeitig um ca. 23 %. Dabei nimmt der ÖV stärker zu als der nichtmotorisierte Verkehr (Fuß- und Radverkehr). Der ÖV umfasst hier neben dem ÖPNV (Linienbusse, Straßenbahn, U-Bahn, S-Bahn, Schienenregionalverkehr bis 100 km) auch den öffentlichen Fernverkehr (Schienenfernverkehr über 100 km, Flugverkehr nach dem Territorialprinzip und Busverkehre). Auch der Schienenfernverkehr und Flugverkehr profitieren von den höheren Pkw-Wegekosten und „gewinnen“ Anteile an den Verkehrsleistungen. Deutlich wird auch der Einfluss der Verbesserungen im ÖPNV-Angebot und der Fördermaßnahmen im Radverkehr. Eine leichte Zunahme der Fußwege ergibt sich zum Teil zwangsläufig aus der Zunahme des ÖPNV, da Zu- und Abgänge in der Regel zu Fuß erfolgen. Eine allgemeine Schlussfolgerung der Analyse ist, dass im Klimaschutzszenario nicht nur Wege hin zum Umweltverbund verlagert werden, sondern die reduzierte Verkehrsleistung auch ein Ergebnis von Verkehrsvermeidung, d.h. nicht mehr durchgeführten Wegen, ist.

3.3.1.4 Güterverkehr: Entwicklungen im Fahrzeugmarkt

Vor dem Hintergrund einer auch zukünftig nach Umweltkriterien strukturierten Lkw-Maut sowie der EU-Rahmengesetzgebung wurde angenommen, dass auch im europäischen Ausland die im Klimaschutzszenario implementierten bereits gültigen oder zukünftigen CO₂-Emissionsgrenzwerte bzw. Effizienzstandards gelten. Die ausländischen Lkw werden unter

dieser Annahme in gleicher Weise wie die deutschen Lkw modernisiert, so dass die in Deutschland fahrenden ausländischen Lkw eine vergleichbare technische Ausstattung aufweisen.

Die CO₂-Flottengrenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge werden entsprechend der Annahme des Klimaschuttszenarios erreicht. Nur mit den Effizienzvarianten 1 bis 4 der konventionellen Fahrzeuge kann der Zielwertwert allerdings nicht erreicht werden; hierfür sind zusätzlich PHEV-Fahrzeuge in einer Größenordnung von 3 % (2020) und 28 % (2030) erforderlich.

Zur Erreichung der im Klimaschuttszenario definierten CO₂-Effizienzstandards für Lkw werden im Jahr 2030 nur noch effiziente Fahrzeugvarianten eingesetzt (Varianten 3 und 4 für mittelschwere Lkw, Variante 3 für schwere Lkw und Variante 2 für Sattelzugmaschinen).

Durch den Einsatz des 25-Meter-Lkw werden Glieder- und Sattelzüge in einem Verhältnis von drei zu zwei ersetzt, so dass die Anzahl der Glieder- und Sattelzüge insgesamt abnimmt.

Es ergibt sich die Aufteilung der Fahrzeugneuzulassungen nach Effizienzvarianten wie in Abbildung 23 dargestellt. Neben der Basisvariante, die die Effizienzentwicklung im Basisszenario abbildet, stellen die Effizienzvarianten 1 bis 4 Fahrzeuge mit – in dieser Reihenfolge – zunehmender Effizienz dar. Details zu den Renewbility-Effizienzvarianten werden in Öko-Institut & DLR-IVF (2009) diskutiert.

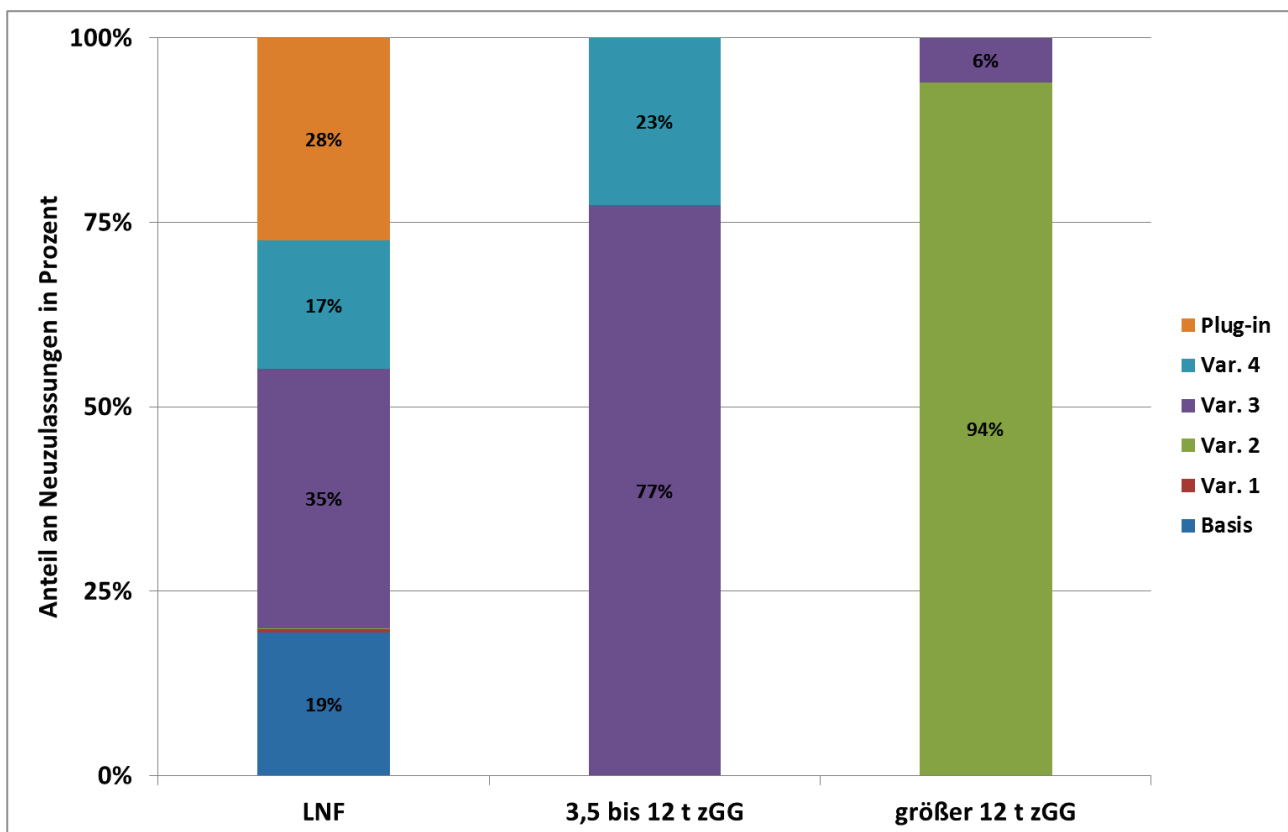


Abbildung 23: Anteile an den Fahrzeugneuzulassungen nach Effizienzvarianten im Klimaschuttszenario im Jahr 2030

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

3.3.1.5 Güterverkehr: Entwicklungen der Fahr- und Verkehrsleistung

Insgesamt nimmt die Güterfahrleistung auf der Straße durch das Maßnahmenbündel des Klimaschutzszenarios im Jahr 2030 um etwa 13,5 % gegenüber der Basisentwicklung ab. Bedeutenden Einfluss auf diese deutliche Senkung der Fahrzeugkilometer auf der Straße haben die Logistikoptimierung, welche zu weniger Leer- und Ladungsfahrten führt, die Förderung des Kombinierten Verkehrs und von Gleisanschlüssen, welche eine Verlagerung von Gütern auf die Verkehrsträger Schiene und Binnenschiff begünstigen sowie der 25-Meter-Lkw, der Ladungsfahrten bei den Volumengütern mit Sattelzugmaschinen substituiert. Etwa 8,5 % der Fahrleistung werden in 2030 durch den 25-Meter-Lkw erbracht.

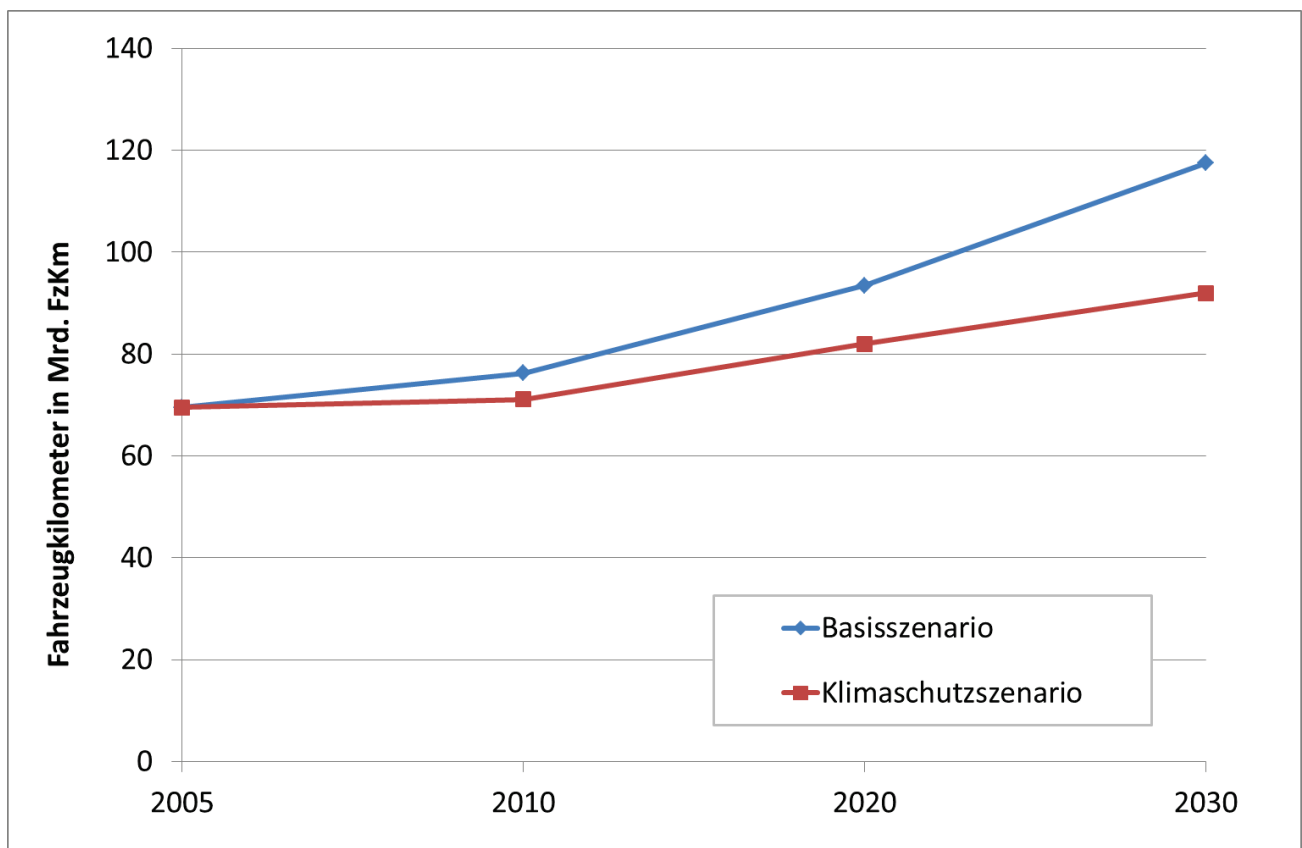


Abbildung 24: Fahrleistung aller Lkw im Basis- und im Klimaschutzszenario

Quelle: Eigene Berechnung/Darstellung

Die Förderung des Kombinierten Verkehrs (KV) und von Gleisanschlüssen durch die Bundesregierung verbessert das Preis- und Leistungsangebot der Verkehrsträger Binnenschiff und Schiene für die Verlader. Eine höhere Anzahl von Zugangsstellen verringert vor allem die Kosten für den Vor- und Nachlauf auf der Straße. Im Schienenverkehr können insbesondere beim Kombinierten Verkehr zusätzliche Verbindungen und Direktverkehre, die die Transportzeit auf der Schiene reduzieren, angeboten werden. Diese beiden Maßnahmen im Klimaschutzszenario tragen somit dazu bei, dass preis- und zeitsensitive Verlader ihre bisherige Verkehrsträgerwahl anpassen, sich so das Verkehrsaufkommen im Straßengüterverkehr verringert und gleichzeitig das Verkehrsaufkommen im Schienengüterverkehr und für Binnenschiffe erhöht. Durch diese Verlagerung nimmt gegenüber der Basisentwicklung die

Verkehrsleistung im Klimaschutzscenario in 2030 auf der Straße um etwa 4 % ab und bei Schiene und Binnenschiff um 19 % bzw. 18 % zu (siehe Abbildung 25). Da diese Verlagerung kontinuierlich in einem insgesamt wachsenden Güterverkehrsmarkt auftritt, ergibt sich für den straßengüterverkehrsintensiven Logistiksektor nur eine Abschwächung des Wachstums.

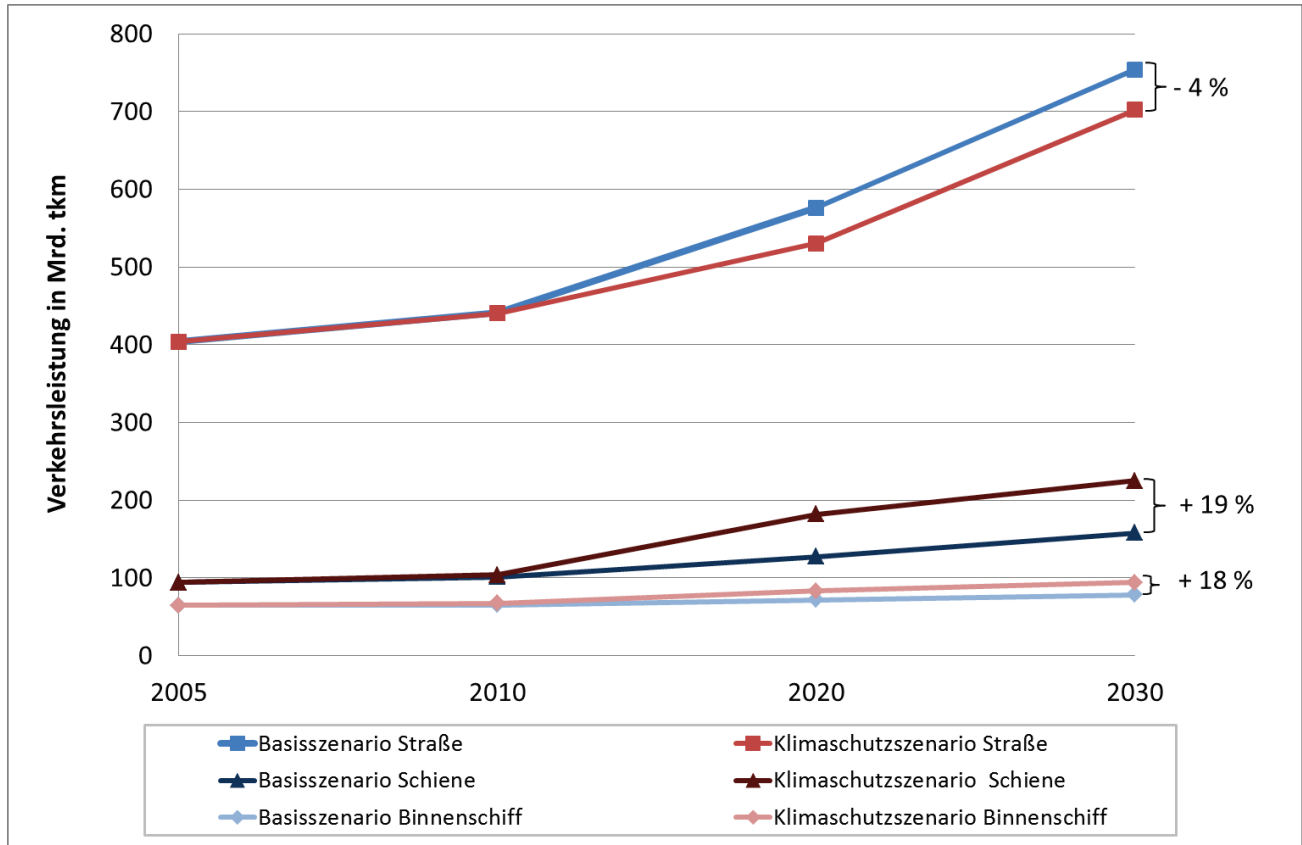


Abbildung 25: Entwicklung der Güterverkehrsleistungen im Basis- und im Klimaschutzscenario

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

Es zeigt sich im Ergebnis des Klimaschutzscenarios, dass die Verbesserung des Zugangs zum Schienennetz (Anschlussgleise und KV-Terminals) sowie zu den Wasserstraßen (KV-Terminals) ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Infrastruktur unter der politischen Maßgabe ist, die Verkehrsträger insgesamt besser zu vernetzen und so die jeweiligen Stärken besser zu nutzen. Eine Erhöhung der Förderung um 100 % bei gleichzeitiger Verlängerung der Förderdauer kann eine sinnvolle Maßnahme zur Dämpfung des Wachstums im Straßengüterverkehr bzw. zur Entlastung des Straßenverkehrs von verlagerbarem Güterverkehr sein. Auch zeigt die Wirkung des angenommenen Fördernutzens im Modell eine scheinbar ausbaufähige Möglichkeit zur Einflussnahme auf, nämlich dass eine direkte Förderung von Schiene und Binnenschiff durch eine Verbesserung des Netzzugangs ein effektiver Weg der Steuerung ist im Vergleich zur einseitigen Kostenerhöhung des Straßengüterverkehrs durch weitere Abgaben.

Auch die Logistik-optimierenden Maßnahmen und der 25-Meter Lkw wirken sich positiv auf die Abwicklung des Straßengüterverkehrs aus. Durch die Verbesserung des Verkehrsangebots für den Straßengüterverkehr entsteht einerseits eine Wirkung dahingehend, dass sich der Güterverkehr in geringem Maße nicht auf Schiene und Binnenschiff verlagert. Andererseits

geschieht dies in einem wachsenden Markt und wird durch die Maßnahme der Förderung vom Kombinierten Verkehr und Gleisanschlüssen im Modell übertroffen, so dass eine Verlagerung insgesamt pro Schiene und Binnenschiff stattfindet und der Straßengüterverkehr gleichzeitig effizienter wird. Dies senkt die Fahrleistung des Straßengüterverkehrs und trägt letztendlich zum Erreichen von Einsparungen beim Energiebedarf pro Tonnenkilometer und zur Reduktion von CO₂ Emissionen bei (siehe Kapitel 3.3.2.3 und 3.3.3.3).

3.3.1.6 Szenaretten zur Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr

Wie bereits in Renewbility I wurden auch in Renewbility II zusätzlich zum Klimaschutzszenario weitere Szenaretten gerechnet. Bei einer Szenarette handelt es sich um eine Modellierung mit der Veränderung einer Maßnahme gegenüber dem Klimaschutzszenario und einer sonst gleichbleibenden Maßnahmengestaltung.

Ziel dieses Vorgehens ist es, weitere Maßnahmen, die zu einer Minderung der CO₂-Emissionen des Verkehrs führen können, im Kontext des bestehenden Maßnahmenbündels zu analysieren und somit auch Wechselwirkungen mit bereits berücksichtigten Maßnahmen zu erfassen.

In den nachfolgenden Abschnitten sind die einzelnen Szenaretten, ihre Ausgestaltung sowie die modelltechnische Umsetzung und deren Wirkung auf die Verkehrsnachfrage beschrieben.

Ausgestaltung der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“

In letzter Zeit gewinnen innovative Mobilitätsdienste verstärkt an Wahrnehmung, Verbreitung und Bedeutung. Die insbesondere bei Jüngeren zu beobachtende abnehmende Bedeutung des Besitzes eines Privat-Pkw hin zu einer nutzungsorientierten, multimodalen Verkehrsmittelnutzung wird oftmals unter dem Schlagwort des „Nutzens statt Besitzens“ zusammengefasst.

Der Terminus umfasst die verstärkte Nutzung multimodaler Mobilitätskonzepte, die sich durch den Einsatz von neuen Möglichkeiten in der Informations- und Kommunikationstechnologie ergeben, ebenso wie eine rationalere Verkehrsmittelwahl. An Stelle des Privat-Pkw tritt hierbei vermehrt die Möglichkeit, bei Bedarf durch Konzepte wie (Free-Floating-)Carsharing (beispielsweise car2go von Daimler) Zugriff auf ein motorisiertes Fahrzeug für den Individualverkehr zu haben.

Auch wenn insbesondere das Konzept Carsharing seit einigen Jahren immer stärkere Verbreitung findet (vgl. Shaheen, Cohen 2008), liegen wissenschaftliche Auswertungen, die eine genaue Spezifizierung des Potenzials sowie der Auswirkungen auf die Verkehrsmittelnutzung haben, noch nicht vor. Um dennoch eine Umsetzung der Maßnahme zu ermöglichen, wurde auf Basis bestehender Literatur eine Abschätzung vorgenommen, die um eigene Einschätzungen erweitert wurde. Insbesondere die geringe Anzahl gesicherter Ergebnisse zur Wirkung der Einführung innovativer Mobilitätskonzepte war ausschlaggebend, dass die Abschätzung der Wirksamkeit in einer separaten Szenarette erfolgte. Dabei erfolgte die Umsetzung der Maßnahme lediglich in der Raumkategorie BBR-1 (urbane Räume), da nur dort von einer Verbreitung ausgegangen wird, die signifikanten Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl hat.

Umsetzung in den Modellen:

Als Potenzialgröße wird ein Wechsel von 10 % der bisherigen Pkw-Besitzer hin zu Nutzern multimodaler Mobilitätsangebote angenommen. Diese Annahme basiert auf der Einschätzung, dass eine fortschreitende Integration, die Akzeptanz und Nutzungszahlen signifikant erhöhen wird, und bewegt sich daher am oberen Rand bestehender Prognosen (vgl. Loose et al. 2004, S. 99). Neben der zunehmenden gesellschaftlichen Akzeptanz des Carsharing führt insbesondere eine erhöhte Integration mit anderen Mobilitätsdienstleistungen dazu, dass die Nutzungsbarrieren im Vergleich zu heute absinken. Wie das Konzept car2go aus Ulm zeigt, kann eine Reduzierung von Nutzungsbarrieren die Akzeptanz und die damit verbundene Nutzung stark erhöhen (vgl. Firnkorn, Müller 2011, S. 1520 f.). Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass reduzierte Nutzungsbarrieren auch zur Folge haben werden, dass zusätzlicher Verkehr induziert wird, insbesondere bei Personengruppen ohne eigenen Pkw-Besitz (vgl. ebd.).

Zwar liegen Erhebungen vor, die sowohl die Nutzungsstruktur als auch die Wegezwecke von Carsharing untersuchen (vgl. Loose et al. 2004, S. 99, Schmied, Hochfeld 2004), allerdings zeigen diese kein einheitliches Bild oder sind nicht plausibel in die Modellstruktur von Renewbility II überführbar. Aus diesem Grund wurde entschieden, die induzierten Wege anhand der bisherigen Wege der jeweiligen Nutzer aufzuteilen. Auch wurde das Potenzial nicht nach unterschiedlichen Altersgruppen differenziert.

Die Quantifizierung der Wirkungsabschätzung erfolgte folgendermaßen:

- 10 % der bestehenden Nutzer, die bisher zur Gruppe der Pkw-Besitzer zählen, werden zu „multimodalen Carsharern“.
- Diese adaptieren das Verkehrsverhalten der äquivalenten Personengruppen ohne Pkw. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sie einmal pro Woche Carsharing nutzen.

Durch die verringerten Nutzungsbarrieren steigern die bisherigen Personengruppen ohne Pkw ihre Nutzung in diesem Bereich. Angenommen wird eine durchschnittliche Nutzung alle zwei Wochen, woraus zwei Pkw-Wege alle zwei Wochen resultieren.

Wirkung der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“:

Die in der Szenarette getroffenen Annahmen zur Wirkung einer verstärkten Nutzung von Carsharing-Konzepten stellt eine Ergänzung zu den im Klimaschutzszenario modellierten Maßnahmen dar und baut somit auf den dortigen Auswirkungen des Maßnahmenbündels auf. Zusätzlich zu der im Klimaschutzszenario beobachteten Reduktion der Pkw-Fahrleistung sinkt die Pkw-Fahrleistung in der Szenarette um etwa 2 %. Das Absinken lässt sich durch den geringeren Pkw-Besitz erklären, dessen Wirkung jedoch durch die verstärkte Nutzung innovativer Mobilitätskonzepte durch Personen ohne Privat-Pkw und vormalige Pkw-Besitzer gedämpft wird.

Dabei gilt es zu beachten, dass es sich um einen zusätzlichen Effekt handelt, dessen Umfang direkt von der Wirkung des Hauptmaßnahmenbündels beeinflusst ist. Entsprechend gibt die um 2 % reduzierte Pkw-Fahrleistung den zusätzlichen Effekt von Carsharing wieder.

Neben der Fahrleistungsreduktion für Pkw werden Wege zum öffentlichen Verkehr hin verlagert, konkret steigt die Fahrleistung im ÖPNV um 3,5 % gegenüber dem Klimaschutzszenario (siehe Abbildung 26). Diese Reaktion erscheint vor dem Hintergrund

plausibel, dass davon auszugehen ist, dass aufgrund der Verfügbarkeit von Carsharing-Optionen sich der Pkw-Besitz (und damit die ständige Pkw-Verfügbarkeit) leicht reduziert und neben den Wegen mit einem geliehenen Pkw auch vermehrt ÖPNV-Wege realisiert werden.

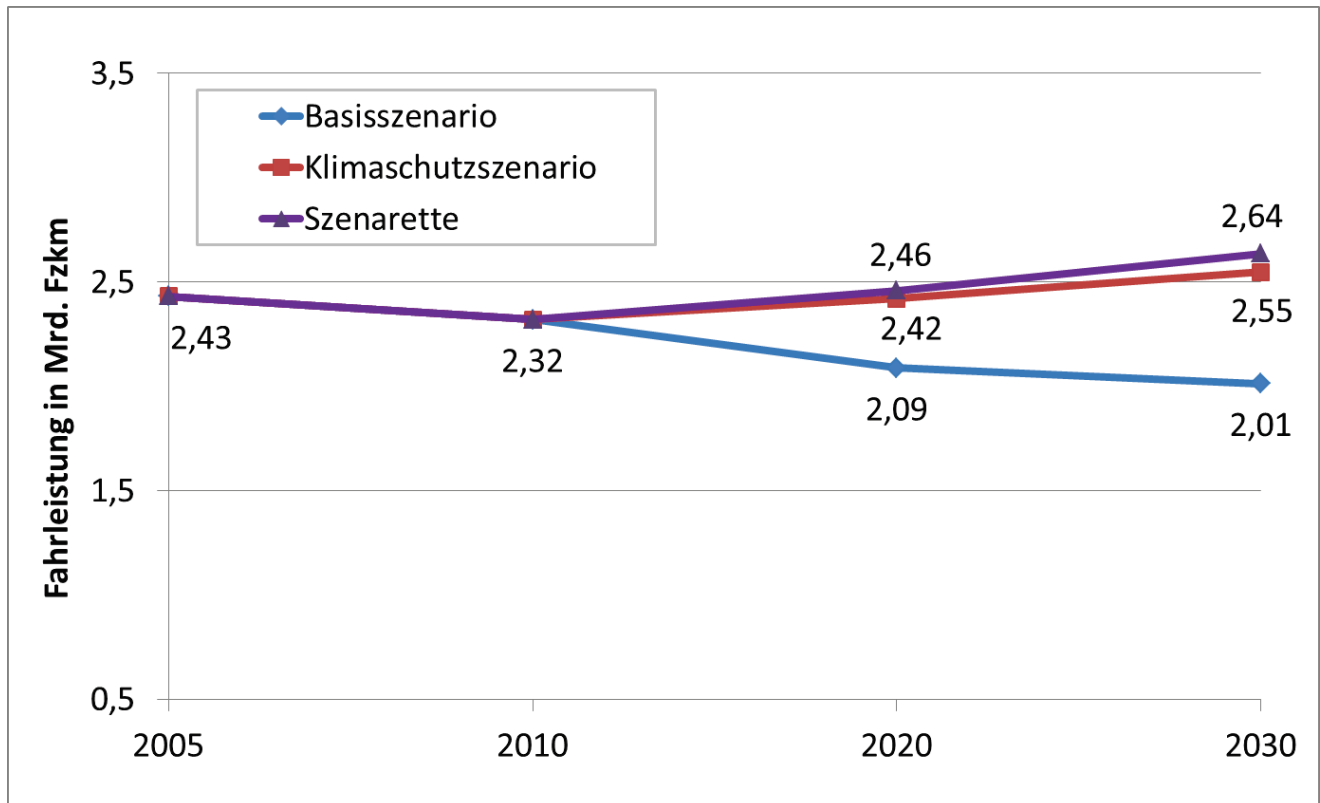


Abbildung 26: ÖPNV-Fahrleistungen in der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“ im Vergleich zu Basis- und Klimaschutzszenario

Quelle: Eigene Berechnung/ Darstellung

Ausgestaltung und Wirkung der Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“

Als Szenarette im Güterverkehr wurde als abzuändernde Einzelmaßnahme die Lkw-Maut nicht auf alle Strecken ausgedehnt, sondern nur auf Autobahnen für alle Lkw ab 3,5 Tonnen zGG erhoben. Die Mauthöhe und alle anderen Maßnahmen entsprechen der Ausgestaltung im Klimaschutzszenario. Die Umsetzung erfolgte analog zu der in Kapitel 3.2.2.2 beschriebenen Maßnahme.

Im Ergebnis der Modellierung steigt die Fahrleistung auf der Straße in 2030 um etwa 1 % gegenüber dem im Klimaschutzszenario ermittelten Wert an (siehe Abbildung 27). Damit wird die Wirkung des Maßnahmenbündels aus dem Klimaschutzszenario etwas abgeschwächt. Aus dem Ergebnis der Berechnung kann auch geschlussfolgert werden, dass eine Ausdehnung der Lkw-Maut auf alle Strecken keinen wesentlichen Beitrag zur Minderung der Lkw-Fahrleistung auf der Straße leistet. Dieses Ergebnis erklärt sich auch aus der Erkenntnis, dass die Autobahntrassen im Allgemeinen die günstigste Route bezogen auf die Zeit und die Kosten im Straßengüterverkehr bilden. Eine Ausdehnung der Maut oder eine Beschränkung der Maut für

einzelne Straßenkategorien kann nur im geringen Maße durch Optimierungsverfahren (z.B. Alternativrouten) kompensiert werden.

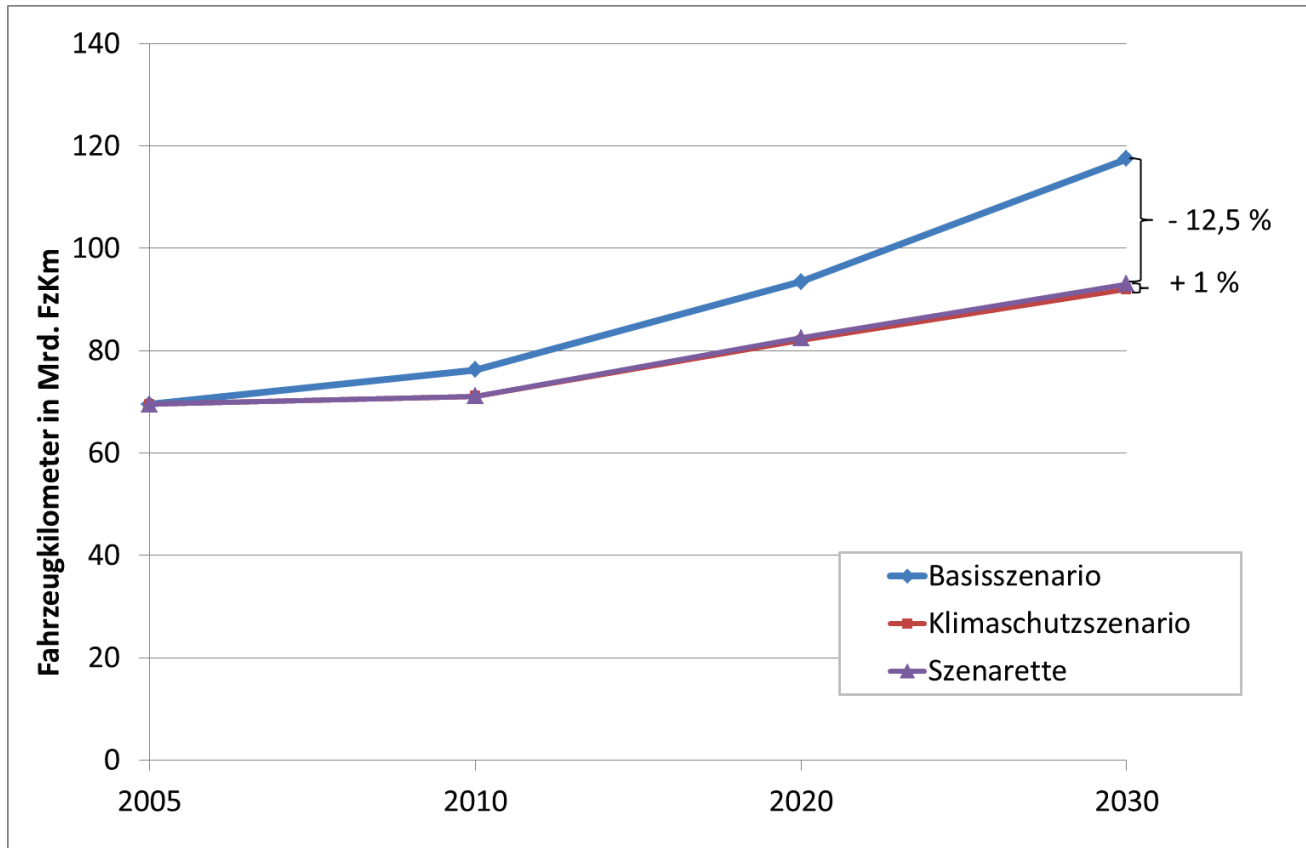


Abbildung 27: Fahrleistung des Straßengüterverkehrs in der Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“ im Vergleich zu Basis- und Klimaschutzszenario

Quelle: eigene Berechnung/ Darstellung

3.3.2 Endenergiebedarf

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs im Verkehr wird durch die Entwicklung des Fahrzeugbestands und der Verkehrsnachfrage bestimmt. Der spezifische Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen kann durch den Einsatz von Effizienztechnologien und alternativen Antrieben reduziert werden und somit auch zum verstärkten Einsatz alternativer Energieträger führen. Auf Seiten der Verkehrsnachfrage sind neben der absoluten Entwicklung der Verkehrsleistung auch der Modal Split – also die Verteilung auf die unterschiedlichen Verkehrsmittel – von Bedeutung. Insbesondere die Verlagerung von Verkehren auf energieeffiziente Verkehrsmittel kann daher ebenso wie die Verkehrsvermeidung zu einer zusätzlichen Minderung des Endenergiebedarfs im Verkehr führen.

Im Folgenden sind die Ergebnisse für das Basis- und Klimaschutzszenario im Vergleich dargestellt. Der ermittelte Endenergiebedarf für den Betrachtungszeitraum berücksichtigt sowohl die Entwicklung des Fahrzeugbestands als auch die Veränderungen der Verkehrsnachfrage (siehe Kapitel 3.3.1).

3.3.2.1 Gesamtverkehr

Im Basisszenario wird trotz eines weiteren Anstiegs der Verkehrsleistung eine Reduzierung des Endenergiebedarfs um etwa 4,5 % bis 2030 erreicht. Dies ist insbesondere auf die fortschreitende Effizienzentwicklung zurückzuführen. Erst durch das Maßnahmenbündel des Klimaschutzszenarios sowie die damit verbundene Verringerung der Verkehrsleistung und Verlagerung auf energieeffizientere Verkehrsmittel kann jedoch eine substantielle Minderung des Energiebedarfs gegenüber 2005 um 31 % bis 2030 (um 14 % bis 2020) erzielt werden. Dies bedeutet eine Verringerung des Energieeinsatzes im Verkehr um etwa 710 Petajoule, was rechnerisch einer Einsparung von etwa 20 Mio. Liter Dieselmotorkraftstoff entsprechen würde.

Gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 reduziert sich der Anteil konventioneller mineralölbasierter Flüssigkraftstoffe im Klimaschutzszenario von 96 % auf etwa 79 %. Gleichzeitig verdreifacht sich der Stromanteil von 1,5 % auf 4,5 %. Die Biokraftstoff-Quote von 20 % im Straßenverkehr im Jahr 2030 hat zur Folge, dass – bezogen auf den gesamten Verkehr – der Einsatz von Biokraftstoffen ausgehend von 2,6 % im Jahr 2005 einen Anteil von fast 17 % im Jahr 2030 erreicht.

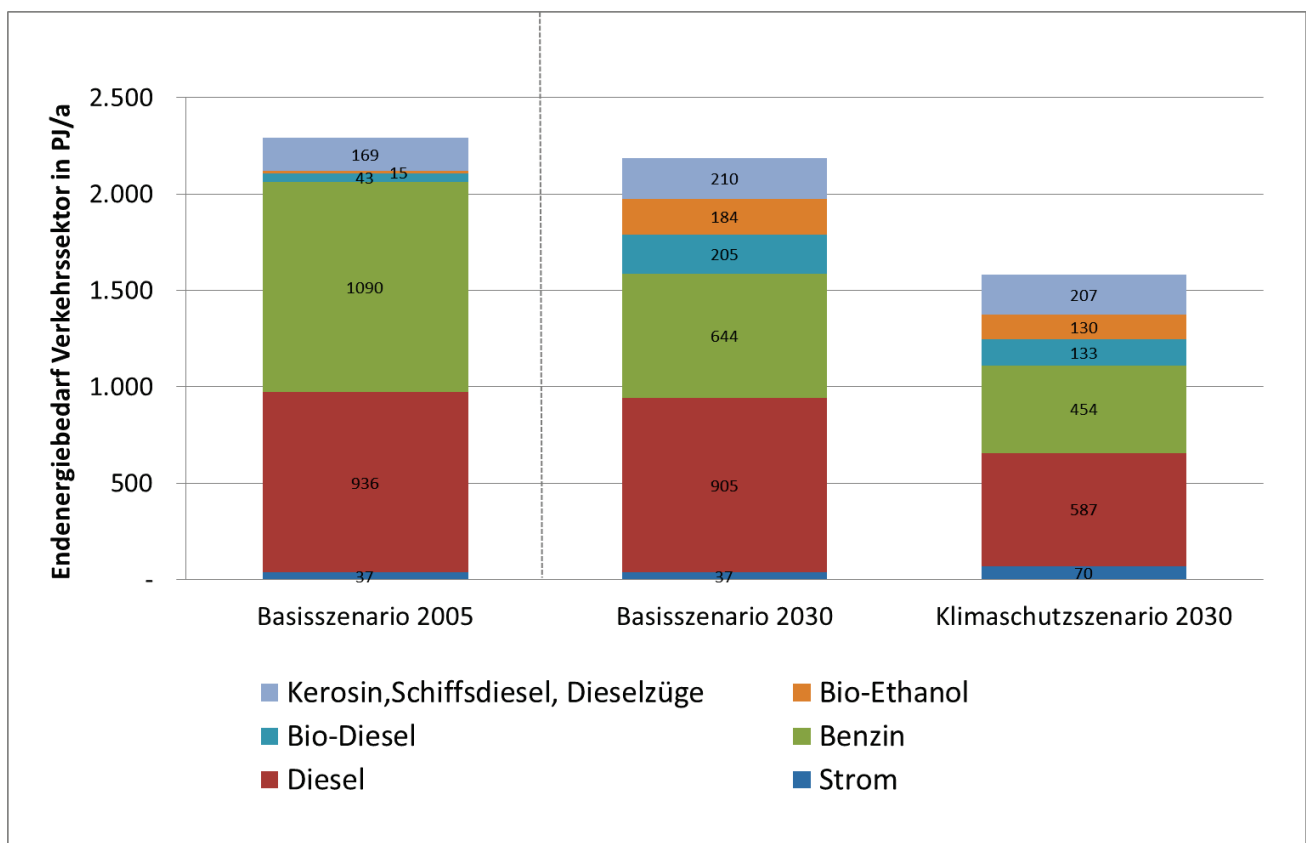


Abbildung 28: Entwicklung des Endenergiebedarfs des Verkehrs

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.2.2 Personenverkehr

Der Endenergieeinsatz im Personenverkehr reduziert sich überdurchschnittlich. Im Basisszenario reduziert sich dieser bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 um

14,1 %. Im Klimaschutzscenario wird eine Minderung bis 2030 um insgesamt 41,1 % erzielt. Die höhere Energieeinsparung im Klimaschutzscenario geht zum einen auf die deutlich ambitioniertere Effizienzentwicklung und den zunehmenden Einsatz von Elektrofahrzeugen zurück. Zum anderen trägt auch die Dämpfung des Verkehrsleistungswachstums gegenüber dem Basisszenario so wie die signifikante Verlagerung auf den Öffentlichen und nicht-motorisierten Verkehr zur Minderung des Endenergiebedarfs bei.

Der spezifische Endenergiebedarf pro Personenkilometer reduziert sich bis zum Jahr 2030 im Basisszenario um 30,2 % und im Klimaschutzscenario um 44,0 %

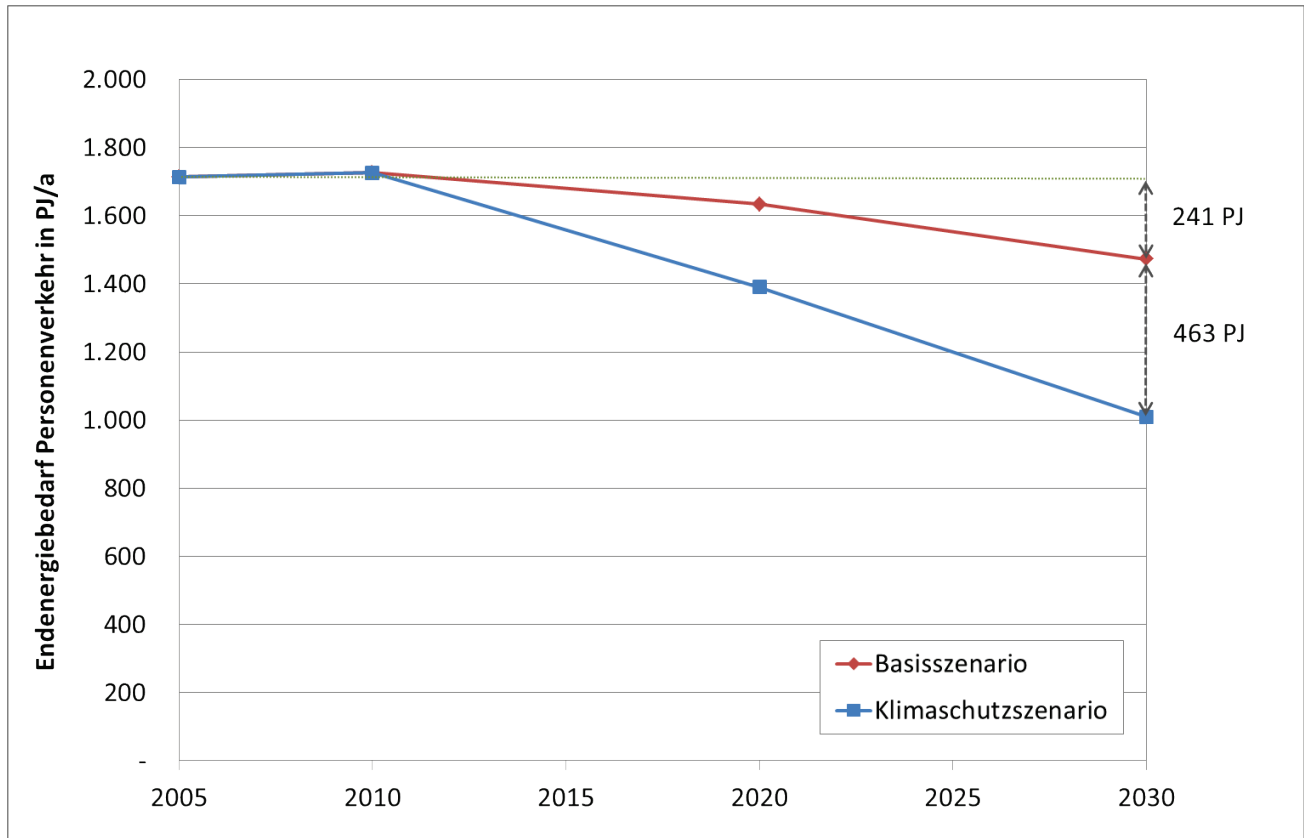


Abbildung 29: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Personenverkehr

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.2.3 Güterverkehr

Auf Grund der weiter steigenden Verkehrsnachfrage steigt auch der Endenergiebedarf im Güterverkehr trotz einer deutlichen Effizienzsteigerung des Fahrzeugbestands bis zum Jahr 2030 weiter – um 23,4 % gegenüber 2005 – an. Im Klimaschutzscenario kann durch eine deutlich ambitioniertere Effizienzsteigerung des Fahrzeugbestands in Kopplung mit einer Verlagerung von Transporten auf Binnenschiff und Bahn zumindest ein leichter Rückgang des Endenergiebedarfs um 1,1 % gegenüber 2005 erzielt werden.

Den erheblichen Einfluss der Verkehrsnachfrage auf die Entwicklung des Endenergiebedarfs veranschaulicht die Betrachtung des spezifischen Energiebedarfs je Tonnenkilometer. Im Basisszenario verbessert sich dieser Wert um 29,9 % bis zum Jahr 2030 und im Klimaschutzscenario um 45,5 %. Damit erfahren auch Gütertransporte eine Effizienzsteigerung,

die in der Größenordnung des Personenverkehrs liegt; jedoch in Kopplung mit einem wesentlich stärkeren Anstieg der Verkehrsleistung.

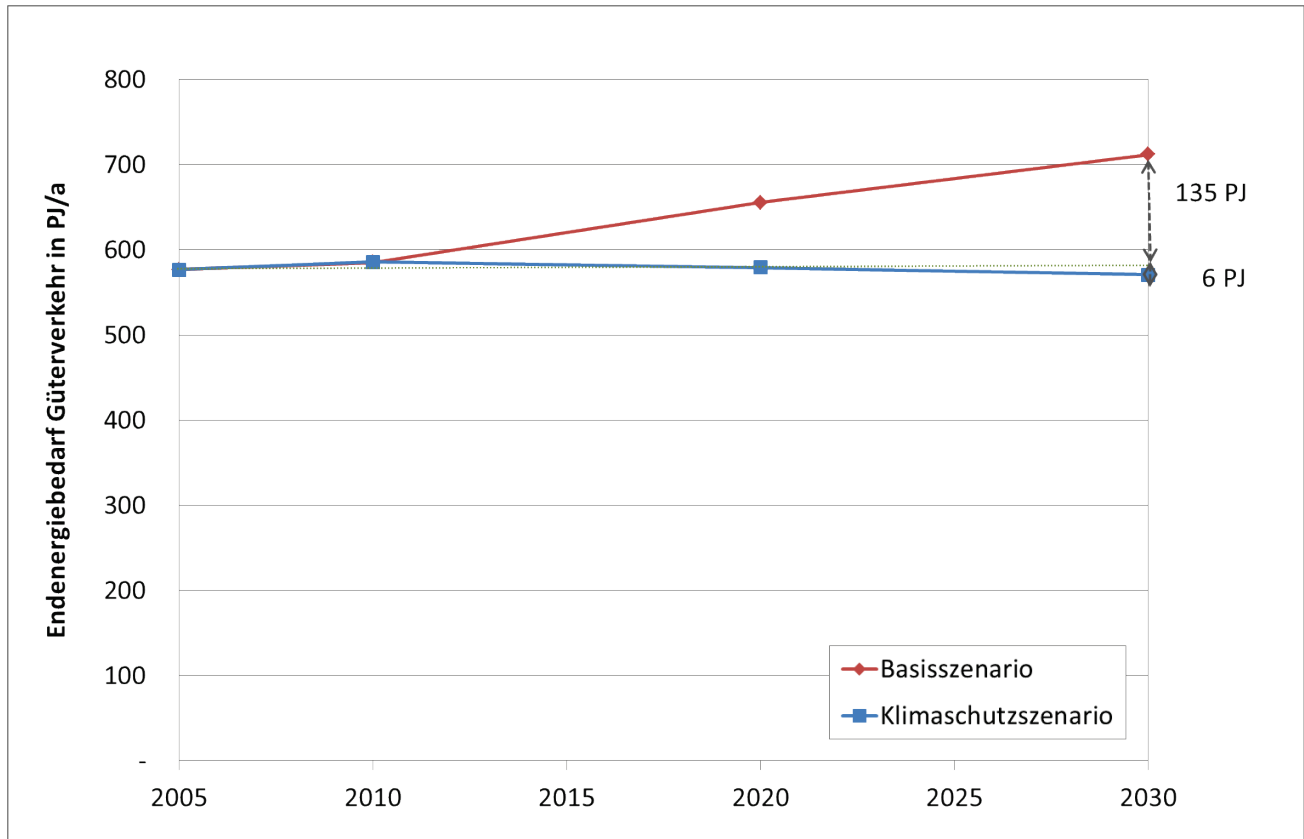


Abbildung 30: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Güterverkehr

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.3 Treibhausgasemissionen

Im Zentrum der Szenarioanalysen steht die Betrachtung der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors. Emissionen entstehen hier nicht nur in der Betriebsphase der Fahrzeuge, sie werden auch durch das für den Verkehr nötige Gesamtsystem verursacht. Berücksichtigt wurden bei der Emissionsbilanzierung im Rahmen von Renewbility I und II daher jeweils nicht nur die direkt von den Verkehrsmitteln emittierten Treibhausgase, sondern ebenso die sogenannten indirekten Emissionen, die durch die Herstellung der Kraftstoffe im In- und Ausland sowie durch die Fahrzeugproduktion entstehen. Indirekte Emissionen aus dem Bau und Betrieb der erforderlichen Verkehrsinfrastruktur sind nicht Bestandteil der Betrachtung.

3.3.3.1 Gesamtverkehr

Bereits im Basisszenario zeigt sich zwischen 2005 und 2030 trotz weiter ansteigender Verkehrsleistung eine deutliche Minderung der Treibhausgasemissionen um rund 12 % (26 Mio. t). Hauptursachen sind die deutliche Effizienzverbesserung der Fahrzeuge sowie der steigende Anteil an Biokraftstoffen mit vorteilhafter Klimabilanz.

Im Klimaschutzszenario können mittels des Maßnahmenbündels die Treibhausgasemissionen des Verkehrs von 226 Mio. Tonnen im Jahr 2005 auf 142 Mio. Tonnen gesenkt werden. Die

Reduzierung um 84 Mio. Tonnen bedeutet, dass der Verkehrssektor auf Grundlage der definierten Annahmen und Rahmenbedingungen bis 2030 durch die Absenkung der Treibhausgasemissionen um mehr als 37 % gegenüber dem Basisjahr 2005 im Klimaschutzscenario einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Bezogen auf das Basisszenario fallen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 um 29 % geringer aus.

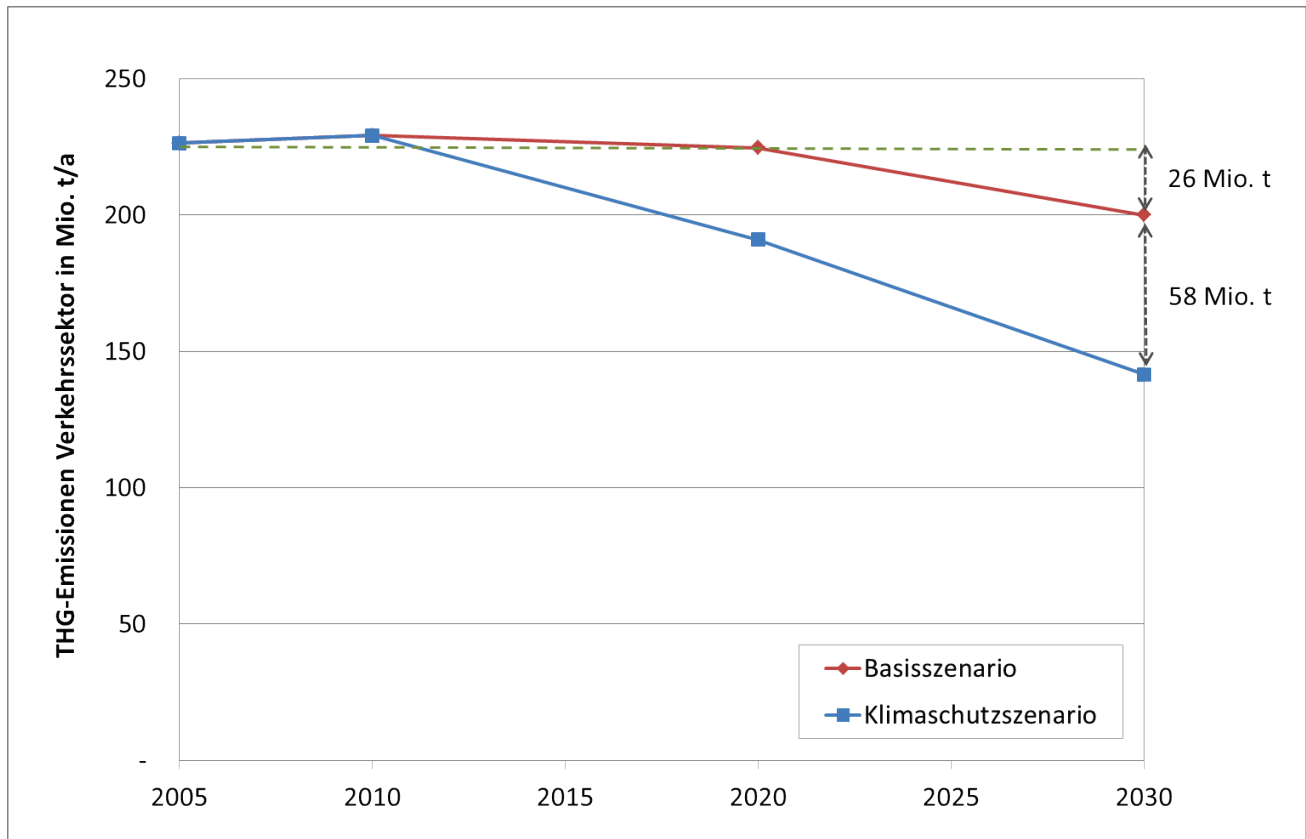


Abbildung 31: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Effizientere Fahrzeuge zeichnen sich durch geringere Emissionen im Fahrbetrieb aus. Durch den zunehmenden Einsatz von alternativen Kraftstoffen wie Fahrstrom aus erneuerbaren Energien und Biokraftstoffen aus nachhaltiger Erzeugung können auch die Vorkettenemissionen der Kraftstoffe – also Emissionen, die bei der Kraftstoffbereitstellung entstehen – im Laufe der Zeit verringert werden. Bereits im Basisszenario sinken die Vorkettenemissionen bis 2030 durch den zunehmenden Einsatz nachhaltig erzeugter Biokraftstoffe. Im Klimaschutzscenario können die Emissionen der Kraftstoffvorketten durch den Einsatz von Strom aus ausschließlich erneuerbaren Energien für Elektromobilität weiter gesenkt werden.

Allerdings erhöhen sich die Emissionen bei der Herstellung der Fahrzeuge durch die energieintensivere Produktion und Verarbeitung von neuen Werkstoffen, wie beispielsweise bei der Hybridisierung des Fahrzeugantriebs. Im Klimaschutzscenario steigt der Anteil der Materialvorleistungen an den Gesamtemissionen von 9 % im Jahr 2005 auf 15 % im Jahr 2030 an, da zunehmend effizientere Fahrzeuge – darunter etwa sechs Millionen Elektrofahrzeuge –

zum Einsatz kommen, die sich von herkömmlichen Pkw durch höhere Energieaufwendungen in der Produktion unterscheiden. Im Kontext einer Verringerung der Gesamttreibhausgasemissionen im Klimaschutzscenario um insgesamt mehr als 37 % bis zum Jahr 2030 sind diese Veränderungen jedoch von untergeordneter Bedeutung.

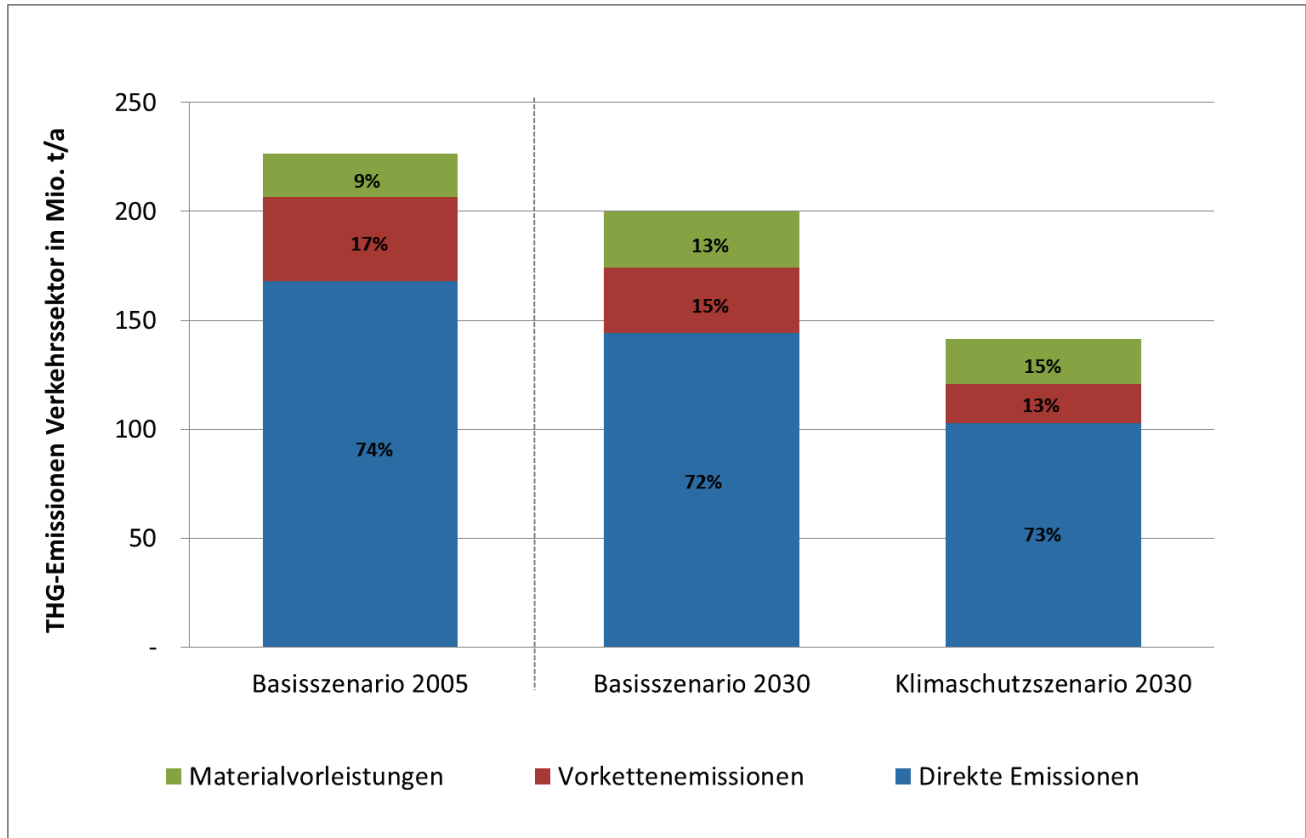


Abbildung 32: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr, differenziert nach direkten und indirekten Emissionen

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.3.2 Personenverkehr

Im Personenverkehr werden bereits im Basisszenario ohne weitere emissionsmindernde Maßnahmen bis 2030 Reduktionen von 30 Mio. Tonnen gegenüber 2005 erreicht, obwohl die Verkehrsleistungen bis dahin weiter steigen. Die Minderungen bei gleichzeitig steigender Verkehrsleistung sind auf effizientere Pkw sowie auf den wachsenden Anteil an Biokraftstoffen zurückzuführen.

Die von der Szenariogruppe erarbeiteten Annahmen und Maßnahmen führen im Klimaschutzscenario zu darüber hinausgehenden Minderungen im Personenverkehr: Die Reduktion der Treibhausgase summiert sich im Klimaschutzscenario auf 76 Mio. Tonnen bzw. 44 % bezogen auf das Jahr 2005. Wesentliche Ursachen sind der Rückgang der Verkehrsleistung, eine stärkere Verlagerung vom Pkw auf öffentliche und nicht-motorisierte Verkehrsmittel sowie ein höherer Marktanteil hoch-effizienter Pkw – darunter eine deutlich zunehmende Anzahl an Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb.

Die spezifischen Treibhausgasemissionen pro Personenkilometer können bis 2030 sogar um 47 % gegenüber 2005 verringert werden. Würde die Verkehrsleistung nicht wie prognostiziert bis 2030 weiter ansteigen, wäre im Personenverkehr entsprechend eine noch deutlichere Reduktion der Treibhausgasemissionen realisierbar.

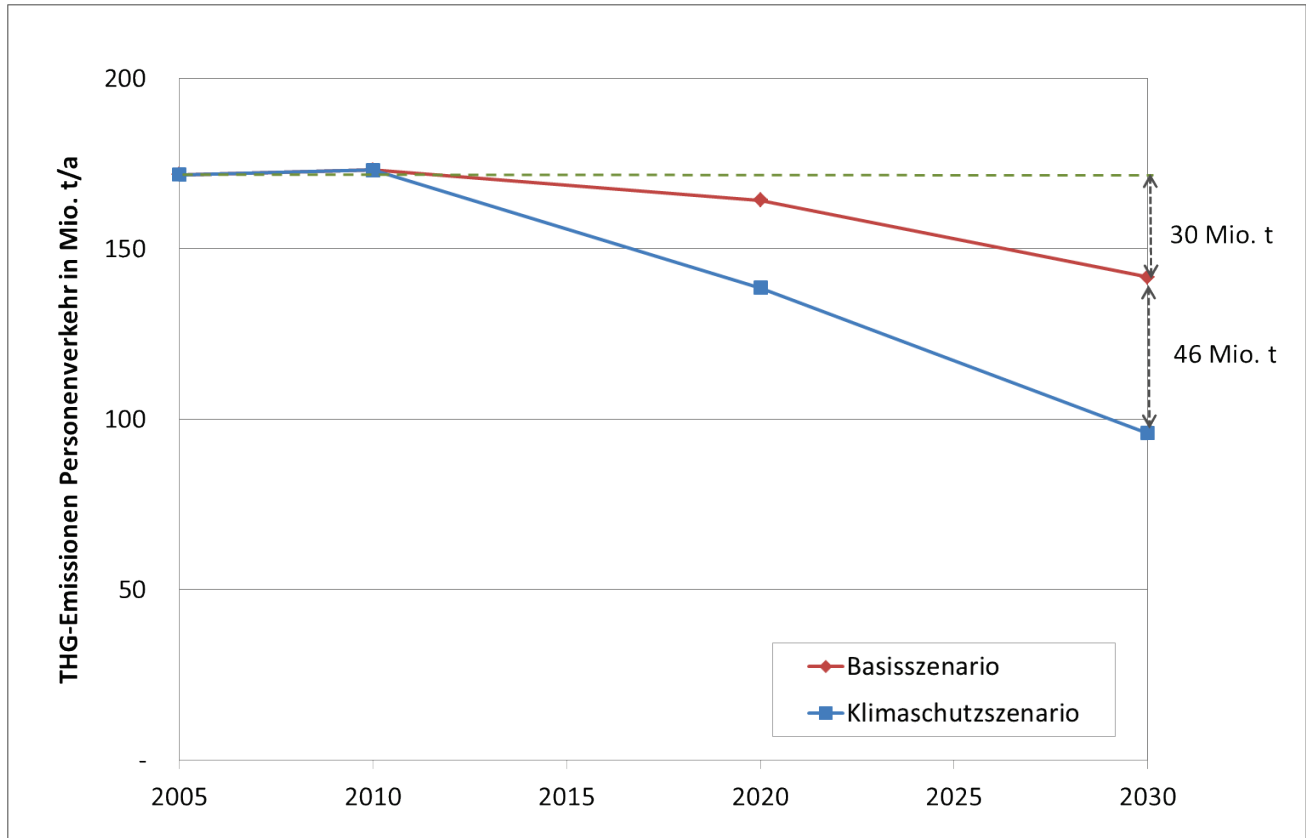


Abbildung 33: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Der motorisierte Individualverkehr (Pkw und motorisierte Zweiräder) ist der größte Emittent von Treibhausgasen im Personenverkehr, leistet in den Szenarien jedoch auch den größten Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen. Bereits im Basisszenario können die Emissionen von 152 Mio. Tonnen (2005) auf 121 Mio. Tonnen (2030) reduziert werden – dies bedeutet eine Verringerung um 20 %. Im Klimaschutzszenario kann bis 2030 insbesondere durch den Einsatz effizienterer Fahrzeuge und eine geringere Pkw-Fahrleistung eine Halbierung der Emissionen auf 76 Mio. Tonnen erzielt werden. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs an den Gesamtemissionen des Personenverkehrs sinkt damit von 90 % im Jahr 2005 auf 80 % im Jahr 2030. Der Anteil von Bus und Bahn an den Gesamtemissionen steigt angesichts der Verlagerung von Pkw-Fahrten auf öffentliche Verkehrsmittel leicht an, wenngleich auch für diese Verkehrsmittel die absoluten Treibhausgasemissionen durch den Einsatz effizienterer Fahrzeuge sinken. Der Anteil des nationalen Luftverkehrs an den Gesamtemissionen verdoppelt sich von 7 % im Jahr 2005 auf über 14 % im Jahr 2030. Die Ursache für diese Entwicklung liegt in der deutlichen Zunahme der Verkehrsleistung im innerdeutschen Luftverkehr begründet. Im Klimaschutzszenario wird die Annahme einer

Minderung des Kraftstoffverbrauchs von neu zugelassenen Flugzeugen von über 35 % bis 2030 berücksichtigt.

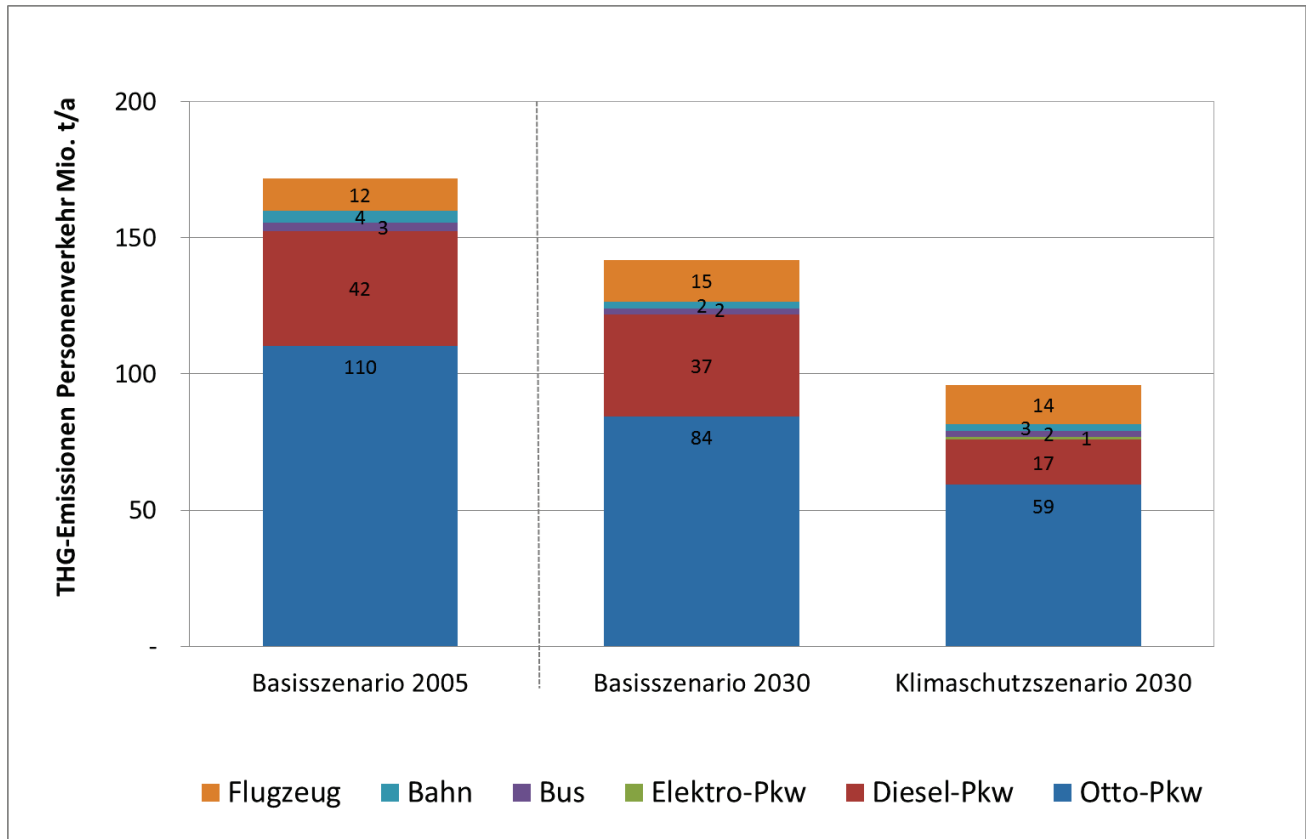


Abbildung 34: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr, differenziert nach Verkehrsmittel und Antriebstyp

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.3.3 Güterverkehr

Im Basisszenario steigen die Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs zunächst bis 2020 weiter an. Zwar erhöht sich der Energiebedarf auch im Zeitraum von 2020 bis 2030 angesichts einer weiter zunehmenden Güterverkehrsleistung, ein weiterer Anstieg der Treibhausgasemissionen kann jedoch durch den höheren Anteil von Biokraftstoffen mit günstiger Klimabilanz vermieden werden. So liegen 2030 die Emissionen des Güterverkehrs im Basisszenario nur noch rund 4 Mio. Tonnen über den Emissionen des Jahres 2005.

Mit den Maßnahmen des Klimaschutzszenarios können hingegen zwischen 2005 und 2030 die Treibhausgasemissionen um 9 Mio. Tonnen und damit um knapp 17 % gemindert werden. Wesentliche Treiber für diese Entwicklung sind die Verlagerung von Transporten von der Straße auf die Bahn und Binnenschiffe sowie die Optimierung von Transporten und eine weitere Steigerung der Fahrzeugeffizienz.

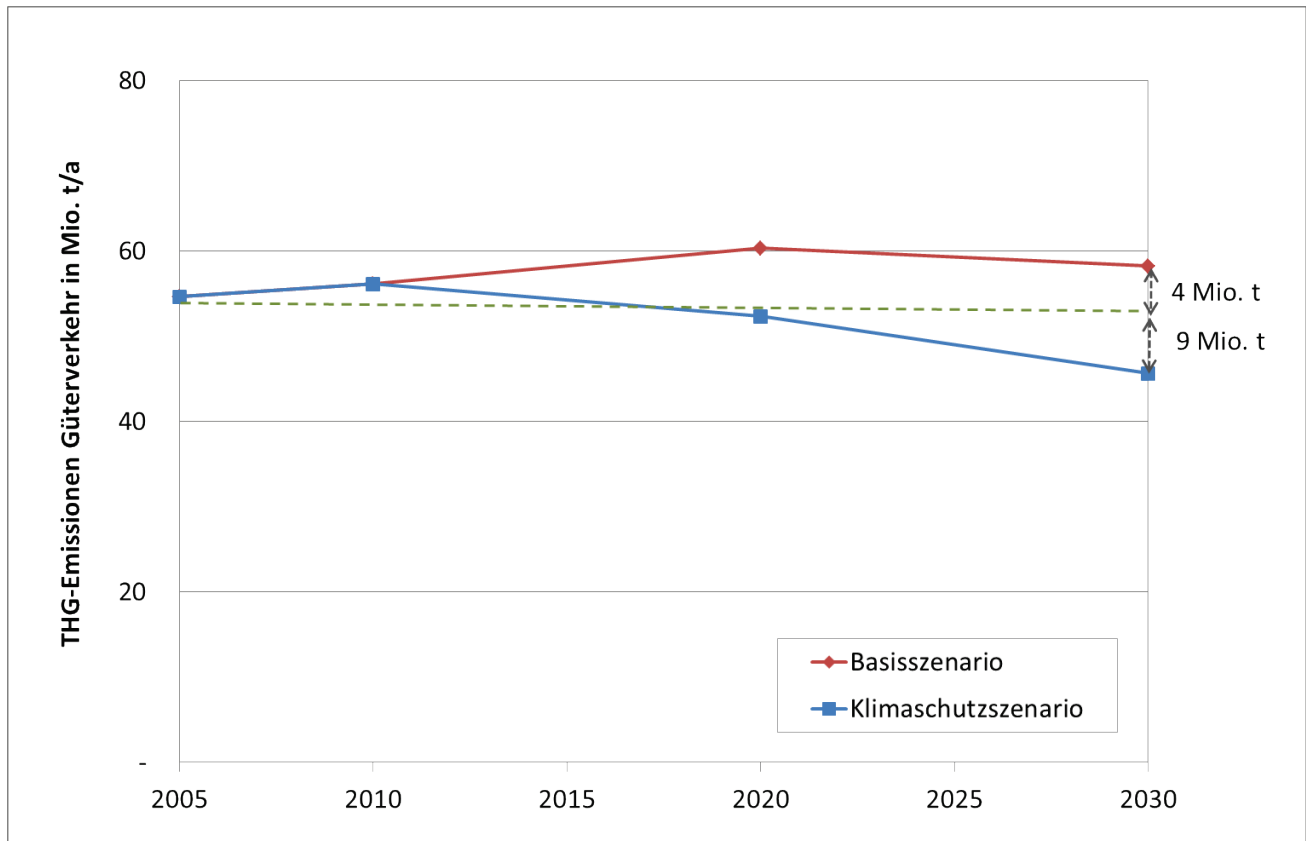


Abbildung 35: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Im Güterverkehr bleibt auch im Jahr 2030 sowohl im Basisszenario, als auch im Klimaschutzszenario der Straßengüterverkehr (inklusive Transitverkehr) mit einem Anteil von 90 % bzw. 84 % (zum Vergleich: 91 % im Jahr 2005) der dominierende Hauptemittent von Treibhausgasen. Die überdurchschnittliche Effizienzsteigerung des Straßengüterverkehrs sowie der zunehmende Einsatz von Biokraftstoffen führen zu einer Minderung der spezifischen Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer bis zum Jahr 2030 um 43 % im Basisszenario bzw. 55 % im Klimaschutzszenario. Durch die weiter stark steigende Verkehrsleistung auf der Straße bis 2030 werden diese Vorteile in beiden Szenarien jedoch in großen Teilen wieder kompensiert, so dass der Anteil des Straßengüterverkehrs an den Gesamtemissionen des Güterverkehrs nur geringfügig sinkt.

Im Umkehrschluss bedeutet dies jedoch für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs auch: Könnte die Güterverkehrsleistung auf dem Niveau von 2005 stabilisiert werden, wäre eine Halbierung der Treibhausgasemissionen bis 2030 möglich.

Im Klimaschutzszenario kann der Straßengüterverkehr durch die technische Effizienzsteigerung der Fahrzeuge sowie die Verlagerung von Transporten auf Binnenschiff und Schiene mit 11 Mio. Tonnen den größten Minderungsbeitrag im Güterverkehr erzielen. Der Anstieg der Treibhausgasemissionen des Schienen- und Binnenschiffverkehrs bis 2030 um 45 % (1,1 Mio. t) bzw. 38,5 % (1,0 Mio. t) gegenüber 2005 geht auf deren zunehmenden Anteil am Modal Split zurück. Die Verkehrsleistung steigt im Klimaschutzszenario im Schienengüterverkehr um

131 Mrd. Tonnenkilometer (+138 %) und um 30 Mrd. Tonnenkilometer (+46 %) bei Binnenschiffen.

Der Anteil an den Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs steigt für den Binnenschiffverkehr von etwa 5,5 % im Jahr 2005 auf knapp 6 % im Basisszenario und knapp 9 % im Klimaschutzscenario im Jahr 2030. Der Treibhausgasanteil des Schienengüterverkehrs bleibt im Basisszenario gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 mit 4,0 % konstant. Im Klimaschutzscenario steigt der Anteil an den Güterverkehrsemissionen auf knapp 7 % im Jahr 2030 an.



Abbildung 36: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr, differenziert nach Verkehrsmittel und Antrieb

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.3.4 Szenarien zur THG-Emissionsentwicklung im Personen- und Güterverkehr

In Ergänzung zur Betrachtung der Treibhausgasemissionsentwicklung im Basis- und Klimaschutzscenario wurde in weiteren Szenarien der Einfluss von Einzelmaßnahmen auf die Gesamtbilanz der THG-Emissionen untersucht. Hierfür wurde jeweils lediglich eine Maßnahme des Klimaschutzscenarios variiert, das Bündel an sonstigen Maßnahmen wurde dabei unverändert belassen.

Szenaretten „ohne Biokraftstoffe“ und „ohne Elektromobilität“

In den Szenaretten „ohne Biokraftstoffe“ und „ohne Elektromobilität“ sollten der Einfluss eines zunehmenden Einsatzes von nachhaltig erzeugten Biokraftstoffen sowie die zunehmende Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in Kopplung mit zusätzlichen erneuerbaren Energien quantifiziert werden. Hierfür wurde in der Szenarette „ohne Biokraftstoffe“ der Biokraftstoffanteil durch konventionelle mineralölbasierte Kraftstoffe ersetzt. In der Szenarette „ohne Elektromobilität“ wurden die Elektrofahrzeuge im Klimaschutzszenario durch effiziente konventionelle Pkw derselben Größenklasse ersetzt.

Szenarette „ohne Elektromobilität“

Im Klimaschutzszenario kommen im Bereich der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge bis 2030 mehr als sechs Millionen Plug-In-Hybrid- und batterieelektrische Fahrzeuge zum Einsatz und substituieren damit konventionelle verbrennungsmotorische Fahrzeuge. Der Strombedarf der Fahrzeuge wird durch den zusätzlichen Ausbau von erneuerbaren Energien gedeckt. Wie die Szenarette „ohne Elektromobilität“ auf Grundlage des Klimaschutzszenarios zeigt (vgl. Abbildung 37), tragen Elektrofahrzeuge unter diesen Rahmenbedingungen im Jahr 2030 zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 6 Mio. Tonnen bei – dies entspricht 4 % der Gesamtemissionen.

Szenarette „ohne Biokraftstoffe“

Der Einsatz von Biokraftstoffen steigt im Klimaschutzszenario im Zeitraum von 2005 bis 2030 von 59 auf 227 Petajoule und vervierfacht sich damit nahezu. Gleichzeitig verbessert sich die Klimabilanz der Biokraftstoffe gegenüber dem Basisszenario deutlich (siehe hierzu auch die ausführliche Diskussion zu den Biokraftstoffannahmen im Klimaschutzszenario in Kapitel 3.2.2.2). Die zusätzlichen Nachhaltigkeitsanforderungen an die Biomasse-Importe beinhalten den Anbau mehrjähriger Pflanzen auf degradierten Flächen, wodurch sich der Bodenkohlenstoff erhöht. Insgesamt hat der im Klimaschutzszenario verwendete Biokraftstoff-Mix aus heimischer und importierter Biomasse dadurch im Jahr 2030 einen negativen Emissionsfaktor von -5 g/MJ Kraftstoff, d.h. bei der Betrachtung der gesamten Kette vom Anbau bis zur Verbrennung kommt es durch den Einsatz der Biokraftstoffe absolut gesehen zu einer CO₂-Reduktion. Zum Vergleich: Die spezifischen Emissionen von konventionellen Kraftstoffen einschließlich der Vorketten betragen 90 bzw. 86 g/MJ (für Otto- bzw. Dieselmotor).

Wie die Analysen im Rahmen der Szenarette „ohne Biokraftstoffe“ zeigen, mindert der Einsatz nachhaltig erzeugter Biokraftstoffe im Klimaschutzszenario die Treibhausgasemissionen im Verkehr unter den getroffenen Annahmen im Jahr 2030 um 12 % bzw. 18 Mio. Tonnen gegenüber einer (hypothetischen) Entwicklung, die auf den Einsatz von Biokraftstoffen im Verkehr vollständig verzichtet.

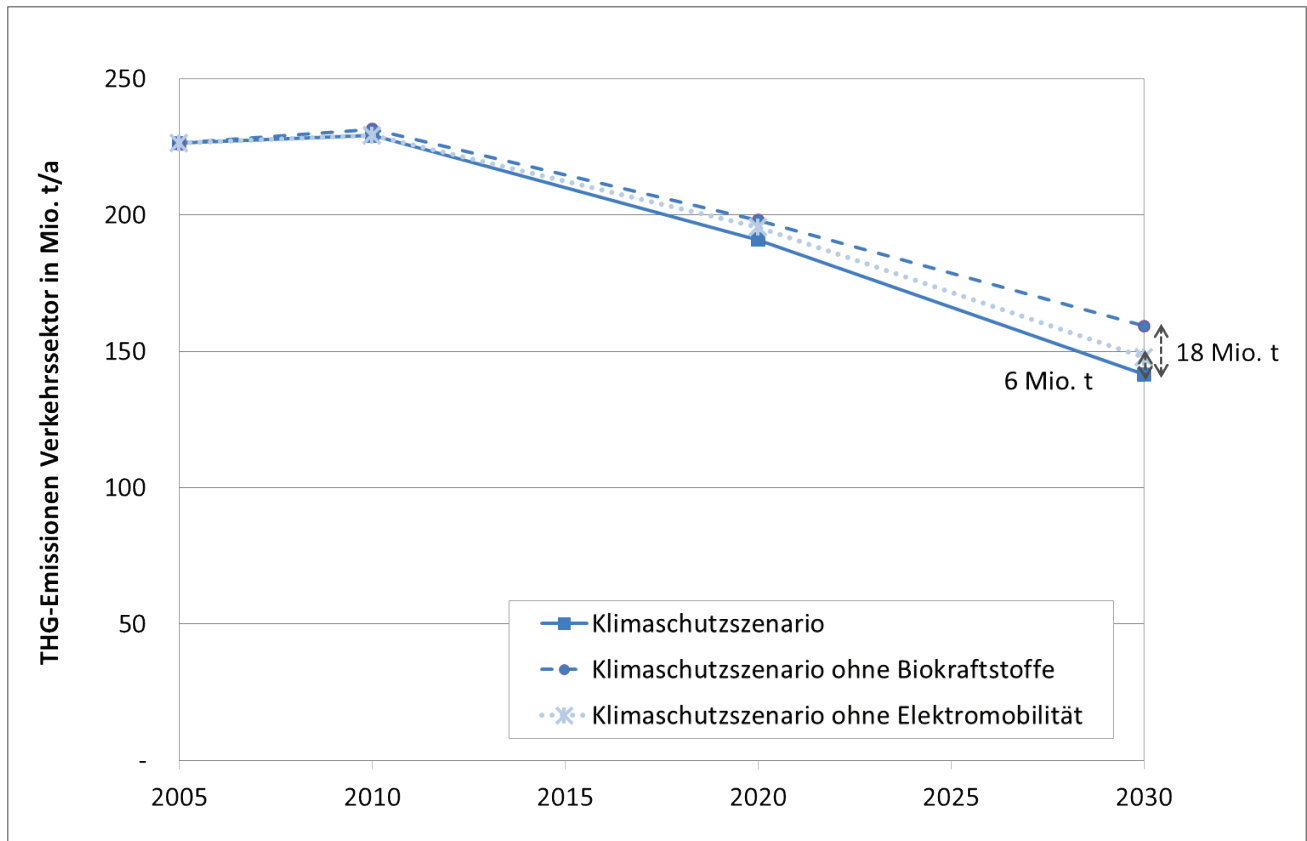


Abbildung 37: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in den Szenaretten „ohne Biokraftstoffe“ und „ohne Elektromobilität“

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“

In der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“ wurde die mögliche Wirkung von intermodalen Mobilitätsangeboten auf das Verkehrsverhalten beleuchtet. In der Szenarette ergibt sich durch die Nutzung entsprechender Angebote eine Verkehrsverlagerung vom Pkw hin zum Öffentlichen Verkehr (ÖV). Während die Pkw-Fahrleistung gegenüber dem Klimaschutzscenario bis zum Jahr 2030 um 2 % zurückgeht, steigt die ÖV-Fahrleistung um 3,5 % an (vgl. Kapitel 3.3.1.6).

Für die Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs bedeutet dies, dass durch die Verlagerung von Pkw auf den öffentlichen Verkehr eine zusätzliche Minderung gegenüber dem Klimaschutzscenario von etwa 3,7 Mio. Tonnen im Jahr 2030 erzielt werden kann und somit die Treibhausgasemissionen um weitere 3,8 % in Bezug auf das Klimaschutzscenario reduziert werden können. Gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 führt die ergänzende Berücksichtigung innovativer Mobilitätskonzepte zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen um insgesamt etwa 46,5 % (Zum Vergleich: 44 % Minderung im Klimaschutzscenario).

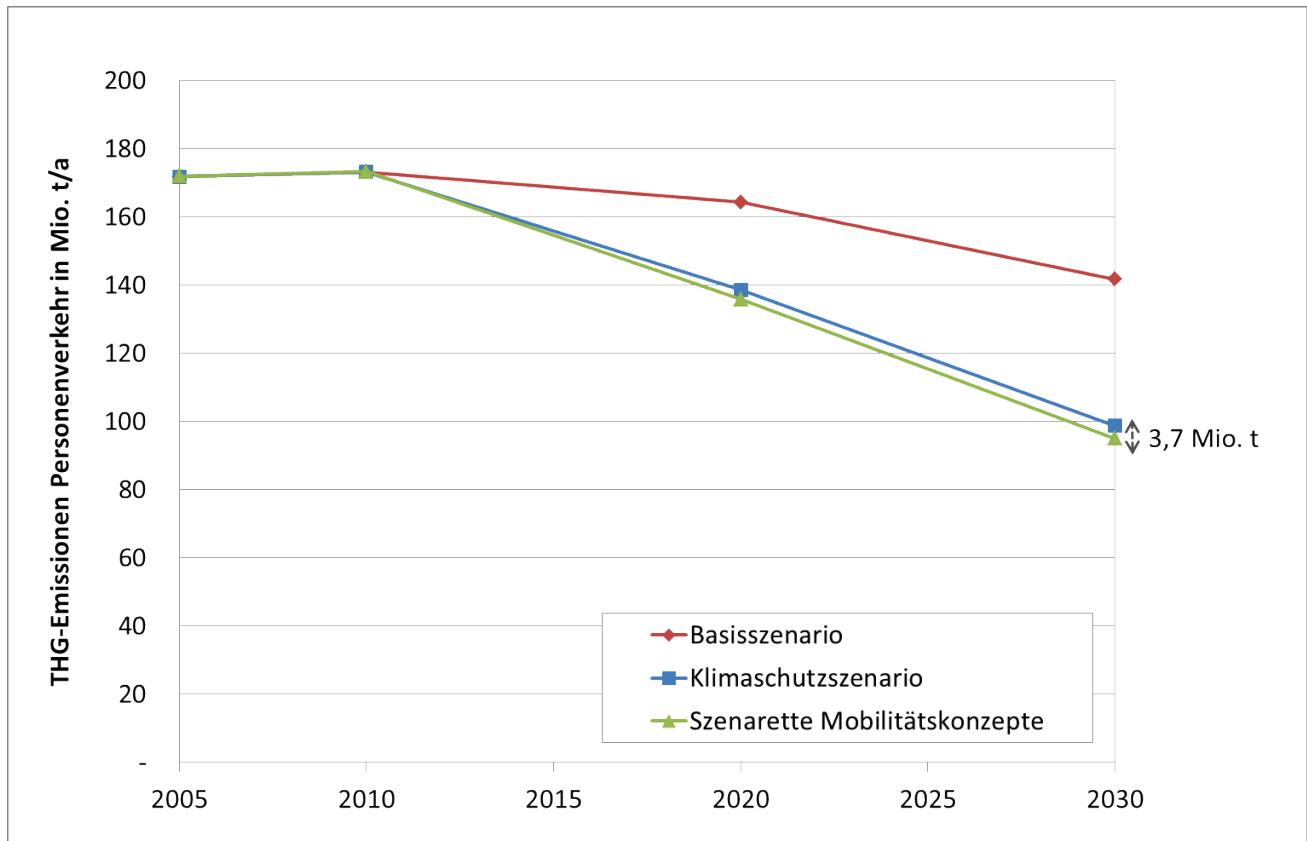


Abbildung 38: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr in der Szenarette „innovative Mobilitätskonzepte“

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“

In der Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“ wird das Klimaschutzszenario in Bezug auf die Ausgestaltung der Lkw-Maut modifiziert. Zwar wird die Steigerung der Mautsätze auch in der Szenarette entsprechend der Ausgestaltung im Klimaschutzszenario berücksichtigt, jedoch wird auf eine Ausweitung der Maut auf alle Straßenkategorien verzichtet. Dadurch sinken die Transportkosten des Straßengüterverkehrs außerhalb des Bundesautobahnnetzes und – so die Ergebnisse der Verkehrsnachfragemodellierung (vgl. auch Kapitel 3.3.1.6) – die Lkw-Fahrleistung steigt in Konsequenz um insgesamt etwa 1 % an.

Entsprechend gering fällt auch der Effekt auf die gesamten Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs aus. Im Vergleich zum Klimaschutzszenario erhöhen sie die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 um knapp 1 Mio. Tonnen (+1,9 %). Gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 würde sich die Minderung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr um etwa 1,5 %-Punkte auf etwa 15 % reduzieren.

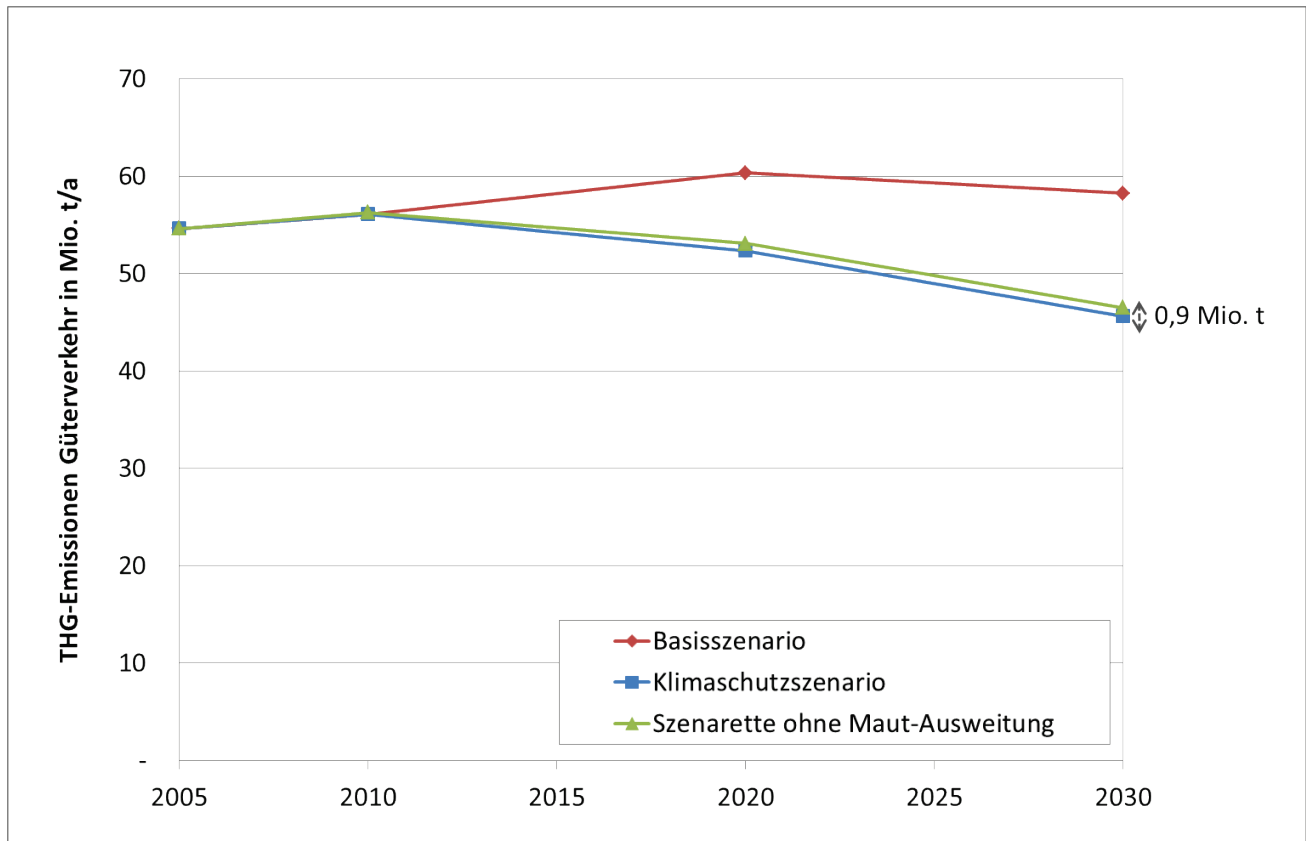


Abbildung 39: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr in der Szenarette „auf Autobahnen beschränkte Maut“

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.4 Volkswirtschaftliche Effekte

3.3.4.1 Zentrale Annahmen zu zusätzlichen Investitionen und Exporten im Klimaschutzszenario

ASTRA-D als gesamtwirtschaftliches Modell versucht, dynamische Veränderungen, welche durch volkswirtschaftliche Größen wie Veränderung in der Güter- oder Dienstleistungsnachfrage entstehen, innerhalb des Modells abzubilden. Mit der Verknüpfung zu Wirkungsketten oder Rückkopplungsschleifen können dabei Maßnahmen einen zeitlichen Potenzierungseffekt entfalten. Die Aufschlüsselung über Input-Output-Tabellen ermöglicht eine sektorfeine Analyse. Neben den endogenen Variablen spielen für das Klimaschutzszenario in Renewbility II zwei exogene, politikgetriebene Größen eine größere Rolle für die Szenarioergebnisse:

- Zusätzliche Investitionen zur Implementierung der Maßnahmen des Klimaschutzenszenarios.
- Induzierte Exporte als Folge von Lead-Markt-Effekten¹⁵ durch politikgetriebene Technologieführerschaft z.B. bei Effizienztechnologien im Straßenverkehr.

Diese beiden Größen werden im Folgenden als exogener Investitionsimpuls und exogener Exportimpuls bezeichnet. Im Basisszenario sind beide Impulse null.

ASTRA-D berechnet bereits aus Verkehrsnachfrageänderungen Anpassungen des Investitionsvolumens in Netzinfrastruktur und Gebäude. Außerdem ist nicht jede Maßnahme mit einer zusätzlichen (Anfangs-)Investition verbunden. Deswegen wurde zu Beginn der Abschätzung des exogenen Investitionsimpulses die Maßnahmenliste geprüft und in nicht-investive Maßnahmen (Sprit-Spar-Training, Tempolimit, Abschaffung der Pendlerpauschale), gering investive Maßnahmen bzw. abgedeckt durch endogene Abschätzung (Anstieg Kraftstoffpreise und Steuern, Lkw-Mauterhöhung, Bahnstrom mit 60 % Erneuerbaren in 2030) und investive Maßnahmen unterteilt. Nur für letztere Maßnahmen wurde eine Abschätzung der zusätzlichen Investitionen durchgeführt und im Modell als exogener Impuls für das Klimaschutzenszenario implementiert. Die investiven Maßnahmen sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Die zusätzlichen Investitionen in der Tabelle gliedern sich in einen Teil für Infrastrukturen, der in ASTRA-D dann dem Bausektor zugeordnet wird und in einen Technologieanteil, der verschiedenen Investitionsgüter-Sektoren bzw. mit dem größten Anteil dem Forschungssektor zugeordnet wird.

¹⁵ Lead-Märkte sind „Märkte, auf denen Produkte und Technologien zu einem frühen Zeitpunkt nachgefragt werden, die sich später auch international durchsetzen“ (Beise et al., 2002). Der Begriff ist spezifisch aus der Innovationsforschung und wird deshalb hier und im Folgenden im englischen Original verwendet.

Tabelle 16: Zusammenfassung des exogenen Investitionsimpulses der investiven Maßnahmen im Klimaschutzszenario

Investive Maßnahme	Anteile Technologie / Infrastruktur	Periode	Summe zusätzlich m€	Verdrängte Investition
CO ₂ -Emissionsstandard Pkw	90/10	2010-2020	28.000	Ja
CO ₂ -Emissionsstandard leichte Nutzfahrzeuge	90/10	2010-2020	4.000	
Elektromobilität Pkw und leichte Nutzfahrzeuge	85/15	2010-2030	20.000	
Effizienzsteigerung Lkw und Bus	90/10	2010-2020	6.000	
Effizienzsteigerung Schienenfahrzeuge	95/5	2010-2030	500	
Optimierung der Logistik	75/25	2010-2030	1.000	Ja
Förderung des Kombinierten Verkehrs und von Gleisanschlüssen	20/80	2010-2020	1.470	
25-Meter-LKW	95/5	2010-2020	500	Ja
Nutzung moderner Telematik und IT-Systeme	75/25	2010-2020	100	
Tempobegrenzer für Lkw	100/0	2010-2020	200	
Förderung Fahrradverkehr	20/80	2010-2020	10.000	
Ausweitung des ÖPNV-Angebots	90/10	2011-2015	500	

Quelle: eigene Darstellung

CO₂-Emissionsstandard Pkw

Die Abschätzung der Investitionswirkung der Setzung von CO₂-Emissionsstandards für neue Pkw basiert auf einer Reihe von Quellen (TNO 2006, Schade et al. 2009, Schade 2010). Allerdings existiert bisher keine Schätzung der Kosten für die Erreichung eines Zielwertes von 70 gCO₂/km.

Laut Schade et al. (2009) waren zur Erreichung eines EU-Zielwertes der Neuwagenflotte von 120 gCO₂/km von 2008 bis 2012 jährlich 8 Mrd. Euro an zusätzlichen FuE-Aufwendungen und Anpassungen der Produktion nötig (in Summe also 40 Mrd. Euro). Ein Teil der Investitionen wurde aus anderen Bereichen (z.B. Leistungssteigerung der Motoren, Komfort der Pkw) abgezogen, so dass die tatsächlichen zusätzlichen Investitionen nur 2 Mrd. Euro pro Jahr, in Summe also 10 Mrd. Euro, betrugen.

Eine Abschätzung der zusätzlichen Investitionskosten muss berücksichtigen, dass im Basisszenario bereits ambitioniertere Ziele für 2030 gelten (95 gCO₂/km). Damit sind zahlreiche der kostengünstigen Einsparpotenziale aufgebraucht. Allerdings fällt die zusätzliche Einsparung geringer aus (25 gCO₂/km von 95 auf 70 gCO₂/km, während zur Erreichung des Zielwertes von 95 gCO₂/km je nach Land 55 bis 70 gCO₂/km einzusparen wären). Insgesamt wird davon ausgegangen, dass durch die bereits hohe Fokussierung auf Effizienzverbesserungen im Basisfall allenfalls geringfügig andere Investitionen verdrängt werden, so dass die notwendigen Investitionen zur Erreichung des 70 gCO₂/km Zieles, vollständig als zusätzlich angesehen werden.

Die zusätzliche Effizienzverbesserung unterliegt einer zeitlichen Abfolge an Aktivitäten. Hier wurde angenommen, dass vor allem zusätzliche frühzeitige Forschungsanstrengungen der Industrie notwendig sind, um die Ziele in 2030 zu erreichen, während neue Produktionsanlagen auch zur Erreichung des 95 gCO₂/km Zieles notwendig wären und nur eine andere Implementierung der Anlagen bei annähernd gleichem Investitionsvolumen erfordern. Deshalb wurde ein zusätzliches Volumen von 28 Mrd. Euro Forschungsinvestitionen von 2010 bis 2020 angenommen - bei gleichzeitiger Verdrängung von 1 Mrd. Euro alternativer Investitionen. Das entspricht einem jährlichen zusätzlichen Investitionsvolumen von knapp 2,5 Mrd. Euro. Dieses verteilt sich zu 90 % auf Technologie FuE und nur zu 10 % auf Infrastrukturen.

Die zusätzlichen Investitionen, die seitens der Käufer durch höhere Pkw-Preise entstehen, sind in den Investitionsausgaben nicht enthalten. Diese werden in ASTRA-D endogen basierend auf Inputs des Öko-Instituts zu Pkw-Preisen berechnet.

CO₂-Emissionsstandard leichte Nutzfahrzeuge

Für 2030 wird der Grenzwert auf 110 g/km (-44% gegenüber 2010) fortgeschrieben – das entspricht etwa 133 g/km für Deutschland, gegenüber 169 gCO₂/km im Basisszenario und damit einer zusätzlichen Reduktion von rund 21 %. Zur Zielerreichung werden verstärkt Plug-In-Hybrid- und batterieelektrische Fahrzeuge mit zusätzlichem Strom aus Erneuerbaren Energien (EE) berücksichtigt. Für die Abschätzung der Investitionen dieser Maßnahme wird nur die Effizienzsteigerung hier einbezogen, während Elektromobilität unter die nächste Maßnahme fällt. Ein großer Teil der zusätzlichen Forschung wird bereits bei der Pkw-Maßnahme geleistet, da viele Technologien auch auf LNF übertragen werden können. Als spezifisch für LNF und damit zusätzlich für diese Maßnahme werden 4 Mrd. Euro erwartet, d.h. jährlich rund 350 Mio. Euro von 2010 bis 2020.

Elektromobilität Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Die zusätzlichen Investitionen für Elektromobilität durch die Maßnahmen in Renewbility II lassen sich nur grob abschätzen. Wiesenthal et al. (2010) schätzen, dass europäische Straßenfahrzeughersteller im Jahr 2008 1,3 Mrd. Euro an Forschungsausgaben für Elektromobilität aufgewendet haben. Es wird unterstellt, dass zumindest ein Teil dieser Summe durch Maßnahmen, die in Renewbility II unterstellt sind, induziert wird. Die NPE (2011) berichtet, dass für Marktvorbereitung und -hochlauf der Elektromobilität die deutsche Industrie bis zu 17 Mrd. Euro Forschungsmittel investiert. Nimmt man das BMU-Leitszenario für Erneuerbare Energien als Grundlage, werden zur angestrebten Versorgung der

Elektrofahrzeuge mit erneuerbarem Strom Investitionen von 560 Mio. Euro notwendig. Eine Abschätzung der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE 2011) zur Investition in Ladepunkte für 6 Mio. Fahrzeuge in 2030 ergibt rund 18 Mrd. Euro Investitionen bei 5.000 bis 9.000 Euro pro Ladepunkt. Es wird unterstellt, dass nicht alle diese Investitionen zusätzlich im Klimaschutzszenario anfallen, so dass ein zusätzliches Investitionsvolumen von 20 Mrd. Euro von 2010 bis 2030 angenommen wird.

Effizienzsteigerung Lkw

Im Klimaschutzszenario wird der Kraftstoffverbrauch neuer Lkw in 2030 um weitere 10 % abgesenkt. Hier kann nicht davon ausgegangen werden, dass große Synergien mit den Entwicklungen im Pkw-Bereich realisiert werden. Außerdem ist bereits eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs im Basisszenario um 20 % unterstellt, so dass von einem signifikanten zusätzlichen Investitionsaufwand auszugehen ist. Dieser wird mit 6 Mrd. Euro von 2010 bis 2020 angenommen.

Effizienzsteigerung Schienenfahrzeuge

Die Investitionen für diese Maßnahme wurden in Relation zu den Forschungsaufwendungen des Bahnsektors in Europa zur Effizienzsteigerung und THG-Minderung von 220 Mio. Euro jährlich gesetzt (Leduc et al. 2010). Mit jährlich 25 Mio. Euro wurde allerdings ein sehr moderater Wert angenommen, der bereits für das Basisszenario stärkere als die momentan geplanten Investitionen unterstellt.

Optimierung der Logistik

Der Masterplan Logistik liefert keine separaten Angaben über zusätzliche Investitionen zur Verbesserung der Logistik, sondern nur Angaben über die Mittel zur Engpassbeseitigung in Höhe von 1 Mrd. Euro jährlich zusätzlich (Bundesregierung 2008). Es wird davon ausgegangen, dass Systeme zur Optimierung von Routen und Leerfahrten wesentlich günstiger aufzubauen sind und auch weitgehend im Basisszenario aufgebaut worden wären, so dass bis 2030 eine gesamte zusätzliche Investition von 1 Mrd. Euro angenommen wird.

Förderung des Kombinierten Verkehrs und von Gleisanschlüssen

Die zusätzlichen Investitionen ergeben sich direkt aus der Definition der Maßnahme in Renewbility II. Die Förderung des Kombiverkehrs wird um 115 Mio. Euro jährlich aufgestockt und die Gleisanschlussförderung um 32 Mio. Euro, dies sind also zusammen 147 Mio. Euro. Über 10 Jahre ergibt sich eine Summe von 1,47 Mrd. Euro, die zu 80 % in den Bausektor fließt.

25-Meter Lkw

Hier wird unterstellt, dass die flächendeckende Einführung der langen Lkw bis 2020 noch Investitionen von rund 750 Mio. Euro erfordert, wobei durch einen Rückgang des Lkw-Bestands im Vergleich zum Basisszenario (zwei 25 Meter-Lkw ersetzen drei konventionelle Glieder- bzw. Sattelzüge) 250 Mio. Euro Investitionen in Fahrzeuge eingespart werden. Im Saldo ergibt sich eine zusätzliche Investition von 500 Mio. Euro. Diese Investitionen sind nötig, um der Effizienzentwicklung der sonstigen Lkw entsprechende Anpassungen an Aerodynamik

entgegenzustellen, da bei längeren Fahrzeugen der Luftwiderstand höher ausfällt (Woodrooffe, 2012).

Nutzung moderner Telematik und IT-Systeme

Auch hier wird davon ausgegangen, dass gegenüber dem Basisszenario keine bedeutsamen zusätzlichen Investitionen zu erwarten sind, so dass mit angenommenen 100 Mio. Euro zusätzlich hauptsächlich in Technologien zur Verkehrsbeeinflussung investiert wird.

Tempobegrenzer für Lkw

Auch hier wurde ein moderater Ansatz gewählt. Bei Kosten von 200 Euro zur Nachrüstung eines Lkw mit einem satellitengestützten Tempobegrenzer werden 100.000 Lkw pro Jahr zusätzlich nachgerüstet, so dass sich eine zusätzliche Investitionssumme von 20 Mio. Euro jährlich ergibt.

Förderung Fahrradverkehr

Das Deutsche Institut für Urbanistik (Difu) schätzt die zur Erreichung eines nachhaltigen Verkehrs notwendigen Investitionen in Fuß- und Radverkehr in den Gemeinden von 2006 bis 2020 auf 21 Mrd. Euro (Difu 2008). Hier wurde unterstellt, dass ein Teil der Ausgaben auch im Basisszenario getätigt würde, so dass im Klimaschutzszenario zusätzlich 10 Mrd. Euro von 2010 bis 2020 investiert würden.

Ausweitung des ÖPNV-Angebots

Investitionen in Fahrzeuge und Gebäude für den ÖPNV sind in ASTRA endogen abgebildet (abhängig von Fzghm, Kalibrierung nach Verkehr in Zahlen von 1995-2010), und somit in der Tabelle 16 nicht aufgeführt, da hier nur zusätzliche, exogene Investitionen aufgelistet sind. Der Infrastrukturausbau (Schienen, Straßen etc.) wurde explizit als Teil der Maßnahme ausgeschlossen, so dass die genannten zusätzlichen Investitionen von 500 Mio. Euro (100 Mio. Euro pro Jahr von 2011-2015) sich auf begleitende Maßnahmen wie barrierefreier Zugang, neue Ticketing-Systeme, Parkraumbewirtschaftung etc. beziehen. Sie werden zu 10 % der Infrastruktur und zu 90 % Technologieinvestitionen zugeordnet.

Lead-Markt Wirkungen auf die Handelsbilanz

Die Wirkungen einer Stellung eines Landes als Lead-Markt wurden im Bereich der erneuerbaren Energien detaillierter untersucht (z.B. Ragwitz et al. 2009). Als Voraussetzungen für die Etablierung eines Lead-Marktes gelten folgende drei Kriterien:

- Hohe Wissens- und Forschungsintensität,
- Schnelle/überdurchschnittliche Innovationsdynamik,
- Potenzial für signifikante Lerneffekte zur Kostendegression.

Alle drei Kriterien können für die Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr, insbesondere für die Effizienztechnologien im Straßenverkehr, unterstellt werden. Allerdings existieren nicht nur in Deutschland potente Wettbewerber, die das Potenzial besitzen, Lead-Markt Vorteile zu

generieren, sondern auch in den USA, Japan und eingeschränkt auch in einigen europäischen Ländern (insbesondere Italien, Spanien und Frankreich).

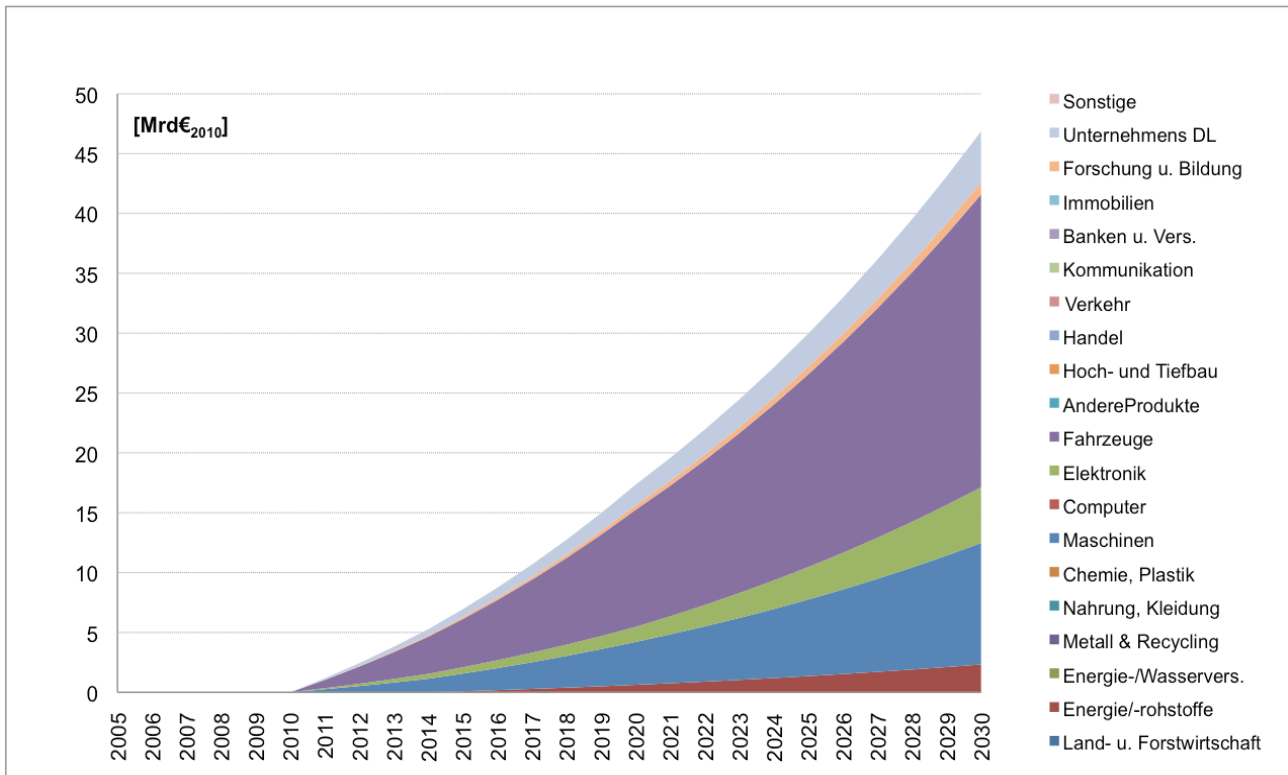


Abbildung 40: Veränderung des Handelsimpulses Exporte im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die Annahme einer Steigerung der Exporte an effizienten Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bzw. Elektrofahrzeugen unterstellt, dass es Deutschland durch die Maßnahmen im Klimaschutzszenario gelingt, eine Lead-Markt Rolle zu erlangen. Allerdings verhindert die starke Wettbewerbssituation eine deutliche Steigerung der Exporte, so dass bis 2030 in den erfolgreichen Sektoren Steigerungen um 3,2 % bis 8 % unterstellt worden sind. Diese führen zu einem zusätzlichen Exportimpuls von knapp über 45 Mrd. Euro in 2030 (siehe Abbildung 40).

Von dieser Entwicklung profitiert nicht allein nur die Fahrzeugindustrie: auch der Sektor Elektronik, welcher u.a. die Herstellung von Elektromotoren umfasst, sowie der Maschinen- und Anlagenbau sind Profiteure dieses kompetitiven Vorteils.

Abbildung 41 stellt analog die Veränderungen auf der Importseite dar. Es werden deutlich weniger Energierohstoffe importiert; da die Veränderung des Mobilitätsverhaltens mit einem Rückgang im Endenergieverbrauch einhergeht. Die Handelsbilanz fällt damit sowohl auf der Exportseite als auch auf der Importseite positiver für Deutschland aus als im Basisszenario.

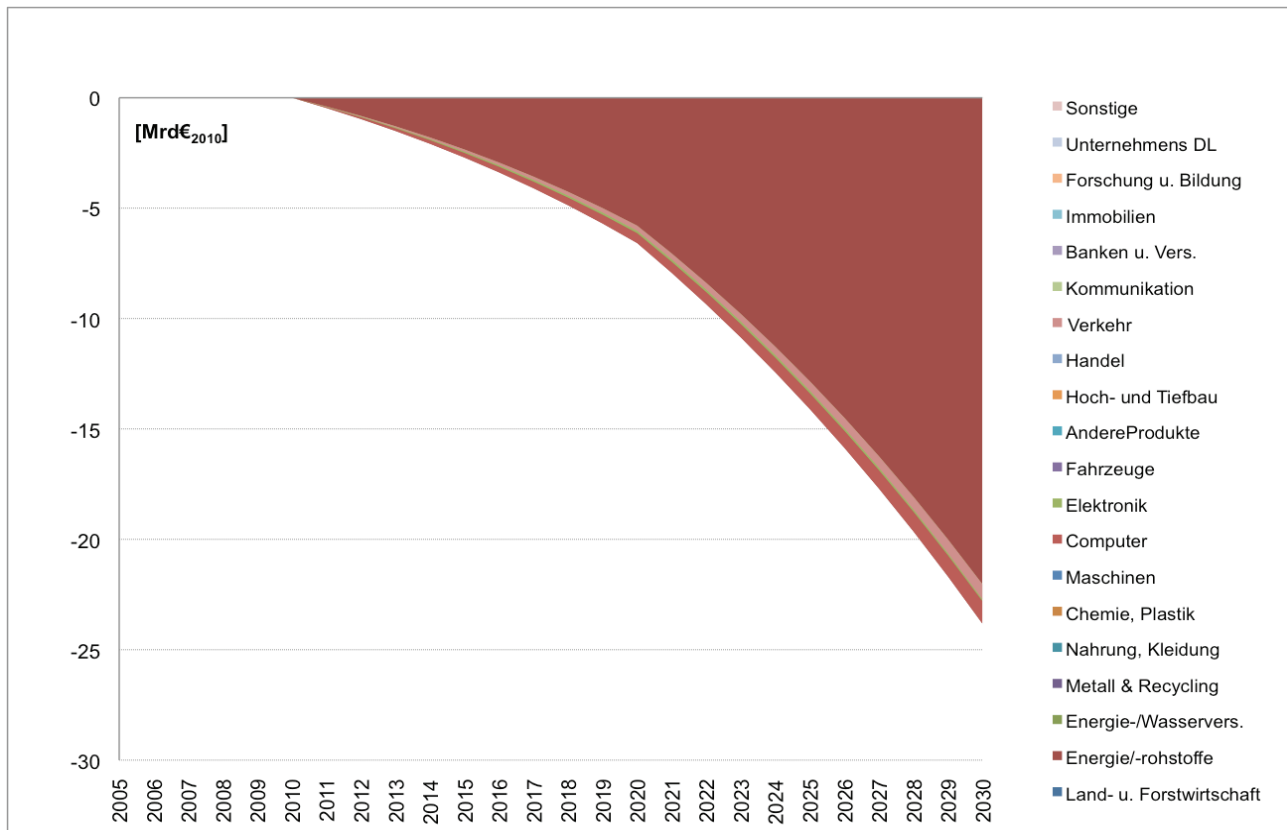


Abbildung 41: Veränderung des Handelsimpulses Importe im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.4.2 Ergebnisse der ökonomischen Modellierung

Die ökonomischen Effekte werden in Renewbility II mit dem ASTRA-D Modell abgeschätzt. ASTRA-D wurde in diesem Projekt ausgehend von dem seit Jahren am Fraunhofer-ISI entwickelten ASTRA Europa-Modell neu aufgesetzt, um für Deutschland einen zusätzlichen Detaillierungsgrad zu ermöglichen, der sich im Europa-Modell aufgrund fehlender europäischer Datengrundlagen nicht realisieren ließe. Die Entwicklung erstreckte sich auf mehrere Module von ASTRA; siehe dazu auch Kapitel 2.6. Aufgrund der Projektanforderungen von Renewbility II wurden vorrangig das makroökonomische Modul und das Güterverkehrsmodul implementiert, kalibriert und zur Erzeugung der nachfolgenden Ergebnisse genutzt. Die übrigen Module wurden durch Zulieferung von fahrzeugflottenbezogenen Daten durch das Öko-Institut sowie von verkehrsbezogenen Daten durch die DLR ersetzt. Eine detailliertere Ausführung findet sich in Kapitel 2.6.

Die folgende Ergebnisdarstellung erfolgt anhand der Zielsetzung von Renewbility II: Zunächst werden die Auswirkungen, welche die Verschiebung der Verkehrsnachfrage im Klimaschutzszenario auf ökonomische Verkehrsindikatoren haben, dargestellt. Abgeleitet daraus ergibt sich unter Berücksichtigung der für eine Veränderung des Mobilitätsverhaltens notwendigen investiven Maßnahmen eine Veränderung im gesamtwirtschaftlichen Konsum. Dies hat Auswirkungen auf die Wertschöpfung der jeweiligen Sektoren und entfaltet damit auch direkt eine Beschäftigungswirkung. Schließlich werden die gesamtwirtschaftlichen Effekte unter Berücksichtigung von Zweitrundeneffekten auf das Bruttoinlandsprodukt und die

Beschäftigung dargestellt sowie im folgenden Kapitel Sensitivitätsanalysen für Variationen der oben beschriebenen, externen Impulse durchgeführt.

Veränderung der ökonomischen Verkehrsindikatoren

Abbildung 42 zeigt, welche Veränderungen sich durch die Anpassung des Mobilitätsverhaltens innerhalb des Klimaschutzszenarios ergeben und hier insbesondere der Modal-Shift vom Straßenverkehr zum öffentlichen Verkehr. Hier machen sich die um 37 % gestiegenen Kilometerkosten gegenüber dem Basisszenario bemerkbar. Der Anstieg der Kraftstoffpreise, welcher einen zentralen Einflussfaktor für die Minderung der Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs darstellt, kompensiert nicht die Minderung des Verbrauchs durch fahrzeugseitige Effizienzsteigerungen.

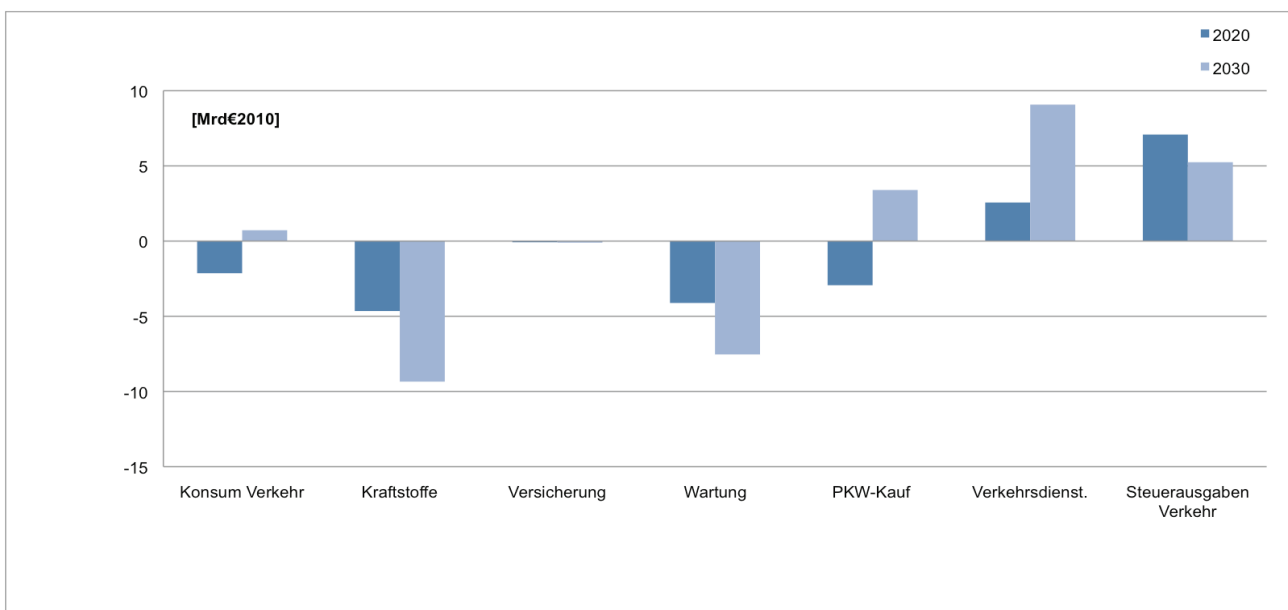


Abbildung 42: Veränderungen der Verkehrsindikatoren im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Der Rückgang des Pkw-Verkehrs wird konsummäßig nicht durch einen Anstieg in den Ausgaben für ÖPNV-Dienstleistungen ausgeglichen. Allerdings verändert sich das Bild, wenn die Steuern hinzugenommen werden. Sowohl in 2020 als auch in 2030 gibt es geringere Konsumausgaben im Verkehr, aber nur, wenn die Steuern außen vorgelassen sind. Bei Betrachtung inklusive der verkehrsbezogenen Steuerausgabe gibt es in 2030 eine leichte Zunahme der Ausgaben für Verkehrsleistungen für Haushalte. Deutlich zum Tragen kommen diese Umbrüche vor allem nach 2020: Da die Verhaltensänderung und die Effizienzsteigerung nur schrittweise eintritt, ist die Veränderung im Konsum von Verkehrsdienstleistungen in 2020 noch nicht besonders ausgeprägt. Jedoch ist dies vor allem beim Pkw-Kauf speziell begründet durch die inhärenten Veränderungen in der Wahl beim Kauf der neuen Pkw mit alternativen Antrieben (v.a. in 2030) und kleinerem Hubraum (v.a. in 2020). Aus diesem Grund wandelt sich das Vorzeichen der gesamten Mobilitätsausgaben für die Haushalte von negativ in 2020 zu positiv in 2030.

Veränderung in den Investitionen

Die Veränderungen im Verkehrsverhalten bewirken auch eine Veränderung in den endogenen Investitionen in verkehrsrelevanten Bereichen. Ein anderer Konsum ändert auch die Erwartungshaltung über zukünftigen Konsum sowie die Notwendigkeit von strukturellen Anpassungen als Reaktion auf die stattfindende Nachfrage. Deswegen treten, zusätzlich zu den exogen zugeführten Investitionen, modellendogene Veränderungen in den Investitionen auf, die sich auf veränderte Konsumerwartungshaltungen und Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl stützen.

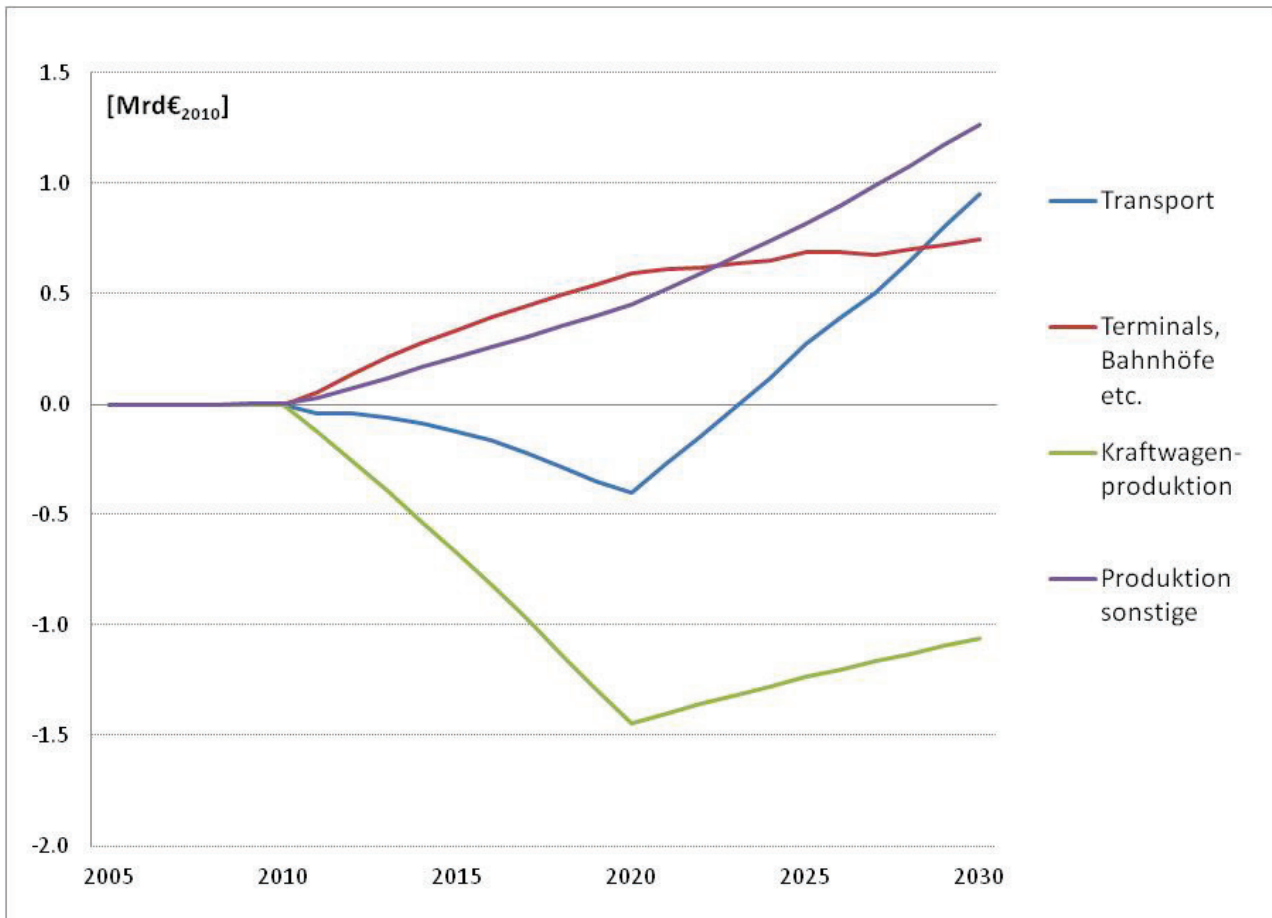


Abbildung 43: Saldo der verkehrsbezogenen Investitionen im Vergleich zum Basisszenario (endogene Investitionen)

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

In Abbildung 43 wird die Wirkung der Verschiebung in der Verkehrsnachfrage auf modellendogen erzeugte Investitionen aufgetragen. Der Rückgang im MIV bewirkt, dass die Investitionen in Kraftwagenproduktion auf aggregierter Ebene kontinuierlich abnehmen, die in sonstige Fahrzeuge kontinuierlich steigen.

Die sonstigen Fahrzeuge beziehen sich dabei vor allem auf Schienenfahrzeuge; die Klassifikation nach Wirtschaftszweigen folgt der Klassifikation des statistischen Bundesamtes in der Version von 2003, welche an die Systematik der Europäischen Gemeinschaft (NACE Rev. 1.1) angelehnt ist (Wirtschaftszweig-Klassifikation 2003; Abschnitt 35).

Entsprechend der Veränderung der endogenisierten Investitionen in sonstige Fahrzeuge ist auch ein Anstieg der Infrastrukturmaßnahmen im Schienenbereich zu beobachten. Diese Anpassungstendenzen an die Nachfrage können nur in einem dynamischen Zusammenhang abgebildet werden und stellen somit eine wichtige Ergänzung zu den vorhandenen Kalkulationen dar.

In Bezug auf die geringeren Pkw (und auch Lkw)-Ausgaben in 2020 erschließt sich diese Entwicklung aus der Verwendung von kleineren leichten Modellen im Pkw-Bereich, welche weniger Ausgaben verursachen. In 2030 werden vermehrt alternative Antriebsmöglichkeiten zur Verfügung stehen und von den Käufern gewählt werden. Allerdings wird diese Entwicklung in ASTRA-D auf rein monetärer Basis beschrieben; das Realverhalten könnte hier eventuell abweichen und zwar wenn die Ersatzinvestitionen für die neuen Produktionsgegebenheiten sich stärker am Realoutput als am monetär bezifferten Output orientieren. Allerdings würde dies mit einer höheren Kapitalquote der Produktion einhergehen.

Der Saldo der endogenen Investitionen im Klimaschutz- im Vergleich zum Basisszenario für den Transportbereich insgesamt ist aufgrund der wertmäßig geringeren Nachfrage nach Kraftwagen geringer; in 2030 überwiegen die kompensatorischen Effekte der übrigen Bereiche.

Vergleich des Konsums im Basis- und Klimaszenario unter allgemeiner und sektoraler Betrachtung

Das gesamte Konsumverhalten reagiert auf die Konsumveränderungen für den Bereich Verkehr (und die weiter unten beschriebene gesamtwirtschaftliche Entwicklung). Da in 2020 weniger Ausgaben auf den Verkehrsbereich entfallen, ergibt sich eine Verschiebung hin zu sonstigen gesamtwirtschaftlichen Konsumausgaben. In 2030 dreht sich diese Entwicklung um, da die Steuerausgaben einen größeren Anteil im Verkehrskonsum einnehmen und dieser im Klimaschutzszenario einen größeren Anteil am Gesamtkonsum einnimmt als im Basisszenario. Der geringere Kraftstoffkonsum hat in 2030 somit keine kompensatorischen Effekte, da diesem hier die höheren Steuereinnahmen gegenüberstehen.

Allerdings ist die dämpfende Wirkung des Verkehrs- auf den sonstigen Konsum im Klimaschutzszenario in der Gesamtwirkungen nahezu ausgeglichen, wie Abbildung 44 zeigt: in 2020 ist der Konsum im Szenario um 0,17 % höher, in 2030 die Basis um 0,69 %. Allerdings gibt es sektorale Verschiebungen: so konsumiert der Sektor Landverkehr deutlich mehr im Vergleichsszenario, der Sektor Kraftwagen entsprechend weniger, siehe hierzu Abbildung 45.

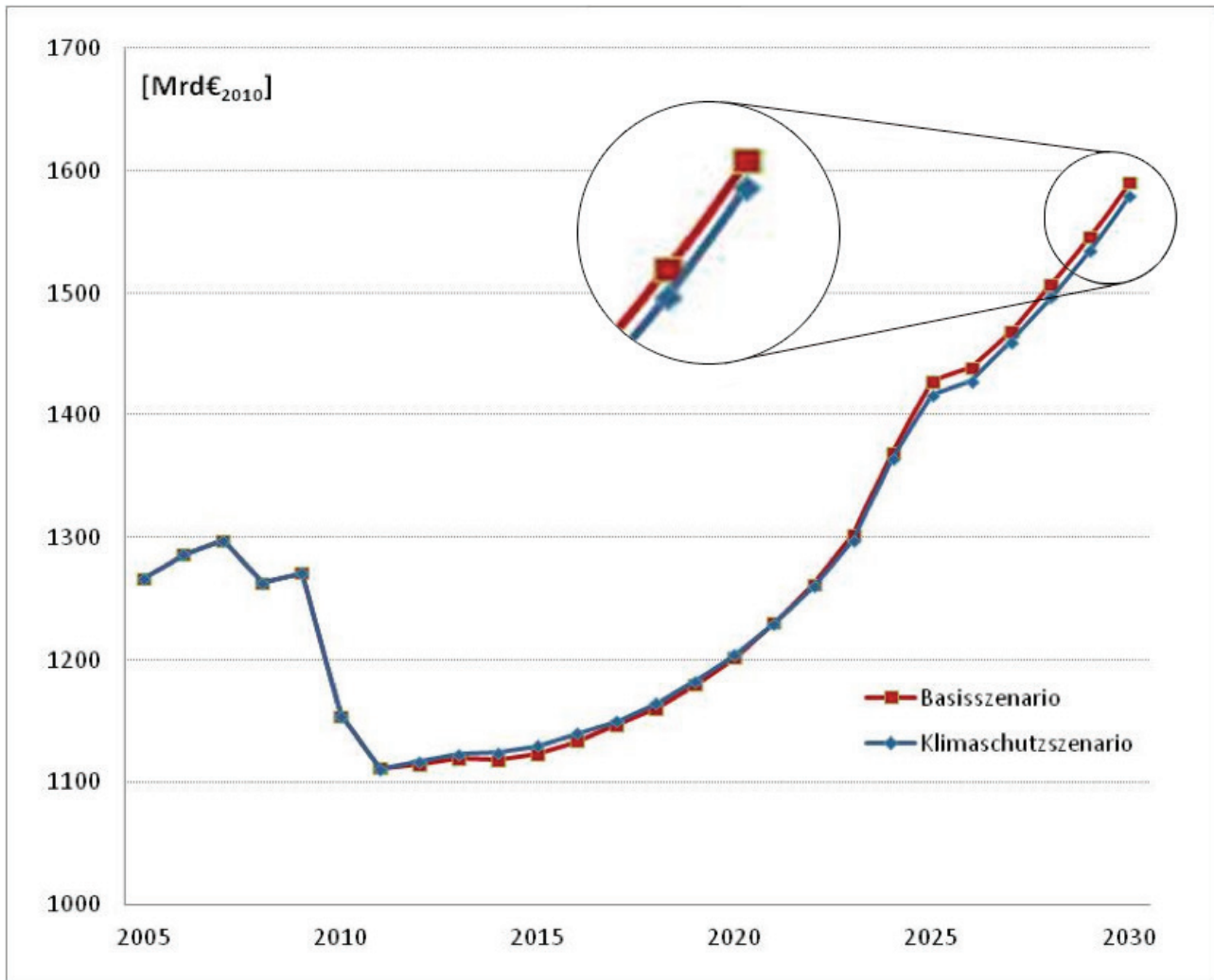


Abbildung 44: Entwicklung des Konsums in Basis- und Klimaschutzszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die Hauptentwicklung in der sektoralen Konsumverschiebung entfaltet sich dabei erst nach 2020, wie Abbildung 45 zeigt: in den Hauptsektoren sind, bis auf den Verkehrssektor, in 2020 kaum Unterschiede im Vergleich zwischen Basisszenario und Klimaschutzszenario festzustellen. Erst in 2030 werden die Veränderungen sichtbar und spiegeln die veränderte Modalwahl wider, so dass die Sektoren Landverkehr (inkl. ÖPNV und Bahn) und Fahrzeuge von höheren Konsumausgaben profitieren, während Ausgaben für Nahrung, Immobilien und sonstige Konsumgüter verringert werden.

Die erhöhte Steuerlast verursacht ein vermindertes verfügbares Einkommen und damit weniger Konsum in den klassischen Konsumbereichen. Die Handelssektoren setzen sich aus Einzel- und Großhandel zusammen, darin inbegriffen sind die Wirtschaftszweigklassifikationen der Wartungsbetriebe, auch hier besteht darum eine geringere Nachfrage. Der Sektor der Immobilien ergibt sich aus dem Auslaufen des Investitionsimpulses, damit ergibt sich ein geringerer gesamtwirtschaftlicher Impuls in 2030. Dies geschieht auch in Folge der Zweitrundeneffekte, welche sich aus dem Konsum ergeben.

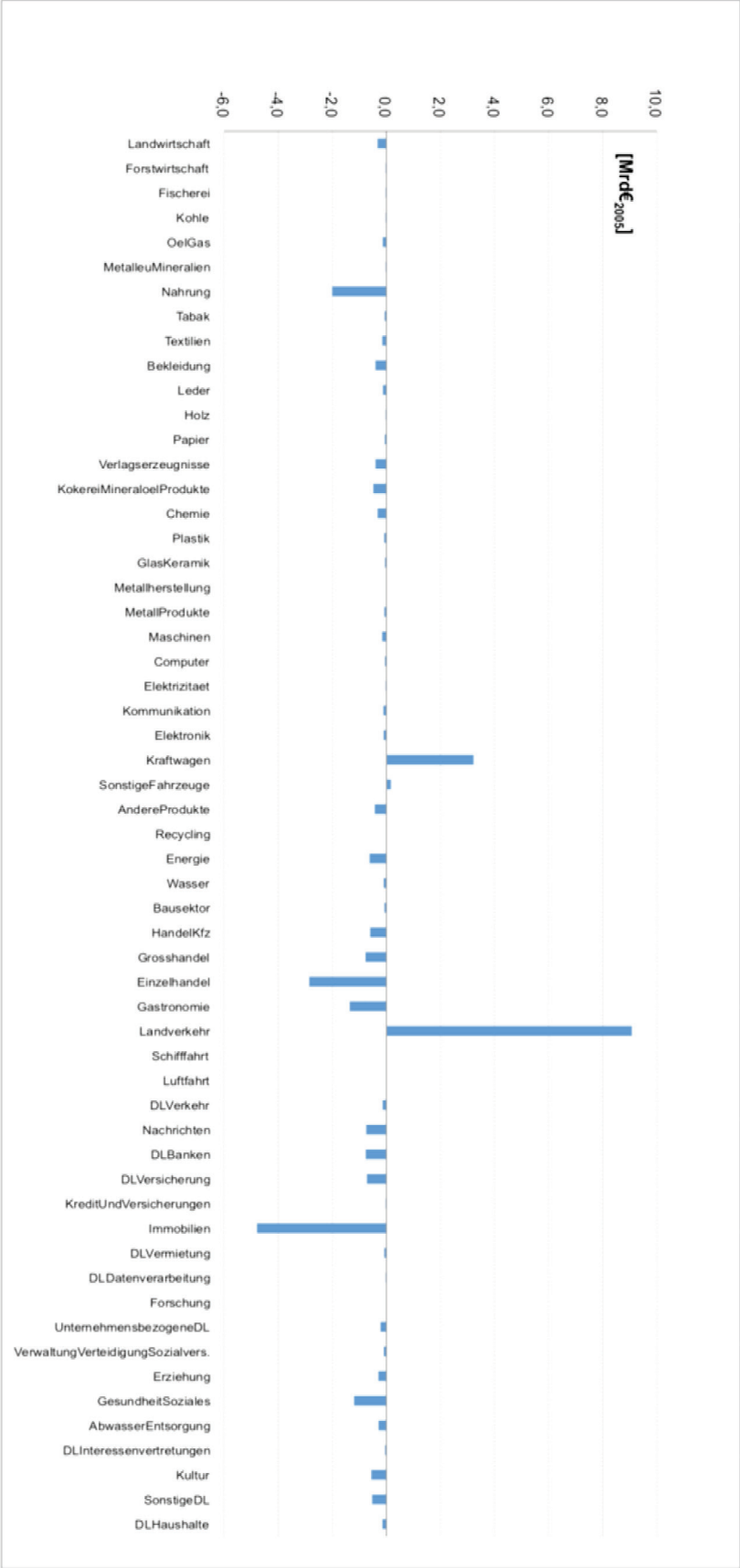


Abbildung 45: Konsumänderung im Vergleich zum Basisszenario im Jahr 2030

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die zeitlich versetzte Reaktion wird zum einen durch die Verzögerungseffekte in der volkswirtschaftlichen Verflechtung verursacht und zum anderen dadurch, dass einige Maßnahmen ihre volle Implementierung erst nach 2020 erreichen. So findet eine Anpassung an das veränderte Mobilitätsverhalten nicht unmittelbar statt. Zwar sind bereits in 2020 die Unterschiede in der Verkehrsnachfrage sehr deutlich, wie die Analyse in den vorherigen Kapiteln zeigt. Allerdings sind die Wirkungen von Konsumveränderungen aus Sicht der industriellen Verflechtung träger als aus Konsumentensicht.

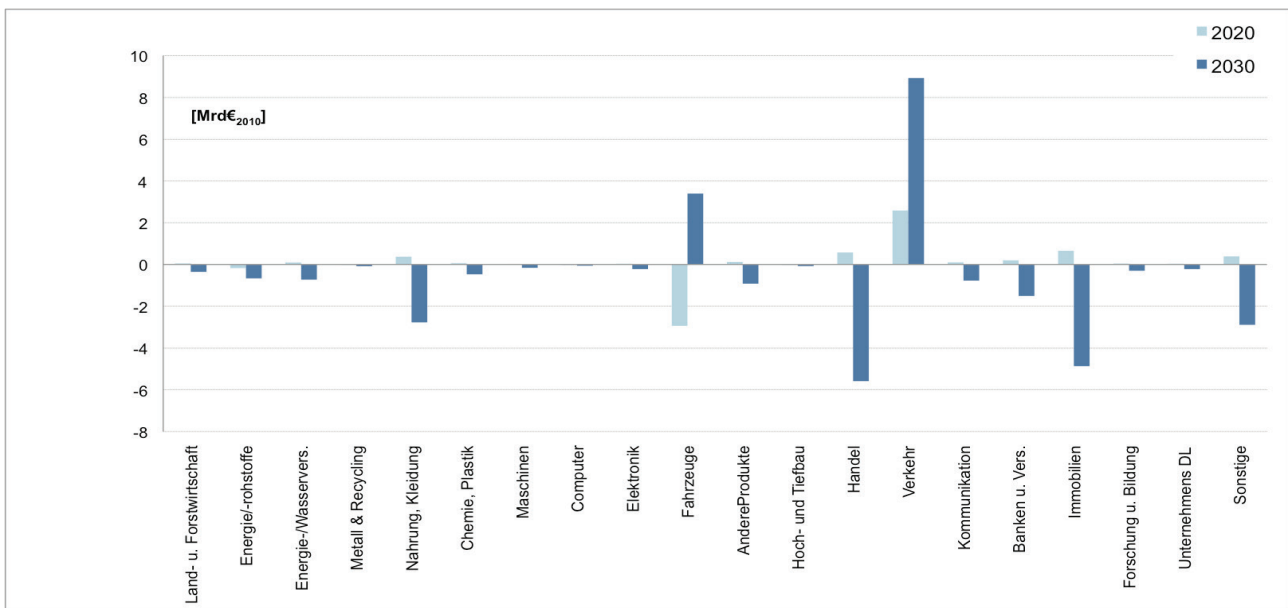


Abbildung 46: Sektorale Konsumänderung im Vergleich zum Basisszenario (aggregiert)

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Gründe für langsamere Anpassungsprozesse aus industrieller Sicht sind z.B. vertragliche Lieferverpflichtungen, komplexere und damit auch längere Entscheidungsprozesse, anderes Planungsverhalten, langsamer Infrastrukturaufbau etc. Die Abbildung dieser Verzögerungseffekte ist eine der Stärken eines systemdynamischen Modells wie ASTRA-D und ist wirklichkeitsnäher als die Annahme unmittelbarer Anpassungen bzw. die Annahme eines Gleichgewichts zu jedem Modellzeitpunkt, wie sie in Gleichgewichtsmodellen oft unterstellt werden.

Veränderungen in den Investitionen unter sektoraler Betrachtung

Veränderungen im Konsum bewirken, dass Unternehmen ihre Investitionsentscheidungen verändern. Bei Investitionsentscheidungen spielt allerdings die Erwartungshaltung über den zukünftigen Konsum eine entscheidende Rolle; diese Erwartungshaltung fußt in der Regel bei aggregierter Betrachtungsweise auf Vergangenheitsbeobachtungen. Abbildung 47 zeigt, wie unterschiedlich sich das Konsumwachstum beider Szenarien im Zeitverlauf entwickelt. Der prozentuale Einfluss, den der Konsum auf die Investitionen hat, wurde dabei in den beiden Szenarien konstant gehalten. In ASTRA-D werden zur Veränderung der Investitionsentscheidungen die Erwartungen über zukünftige Konsumveränderungen für ein

halbes Jahr abgeschätzt. Dies ist ein Grund dafür, warum sich die Veränderungen im Investitionsverhalten früher zeigen als im eigentlichen Konsum.

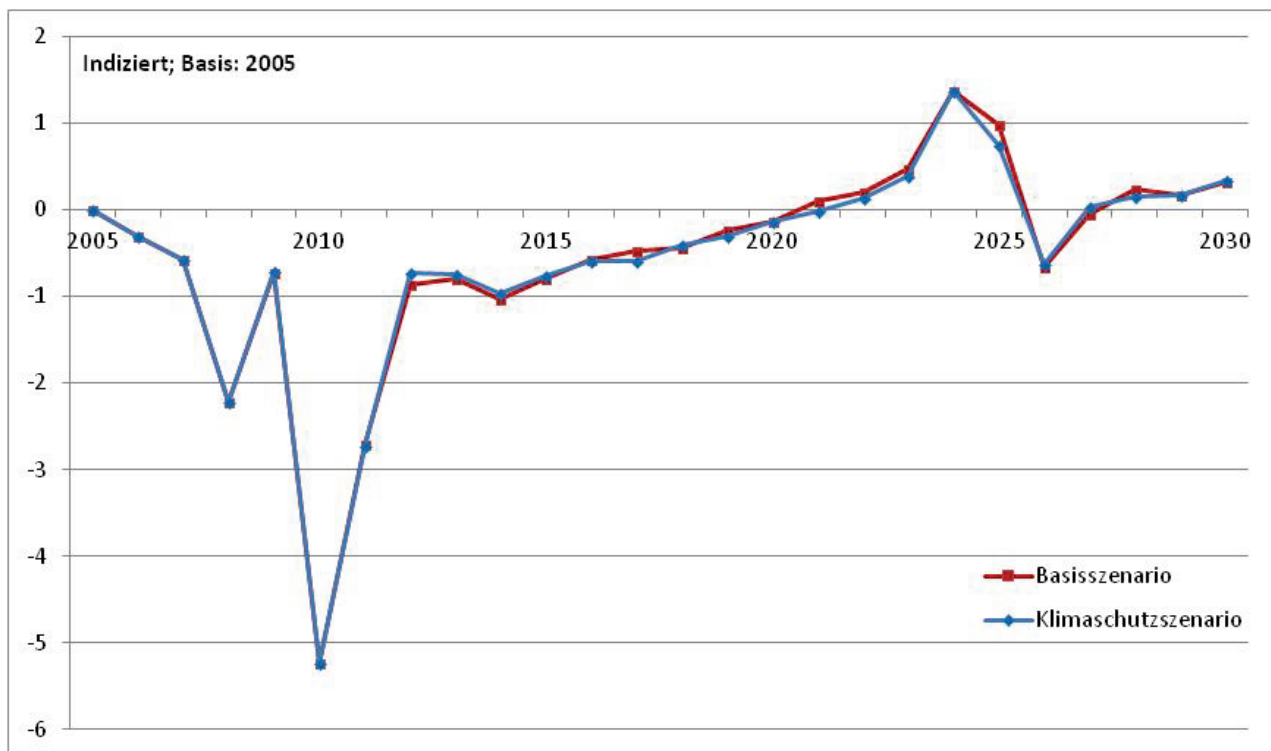


Abbildung 47: Vergleich Konsumwachstum im Basis- und im Klimaschutzszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die Investitionen werden nicht nur durch den Konsum beeinflusst; auch das unterschiedliche Exportverhalten hat Auswirkungen auf die Investitionen. Dazu kommen noch die Investitionen aus den Maßnahmeninputs, beide Wirkungszusammenhänge sind im Kapitel 3.3.4.1 beschrieben. Insgesamt sind im Jahre 2020 um 2,73 % erhöhte Investitionen und im Jahre 2030 um 0,01 % verminderte Investitionen im Klimaschutzszenario im Vergleich zum Basisszenario zu verzeichnen.

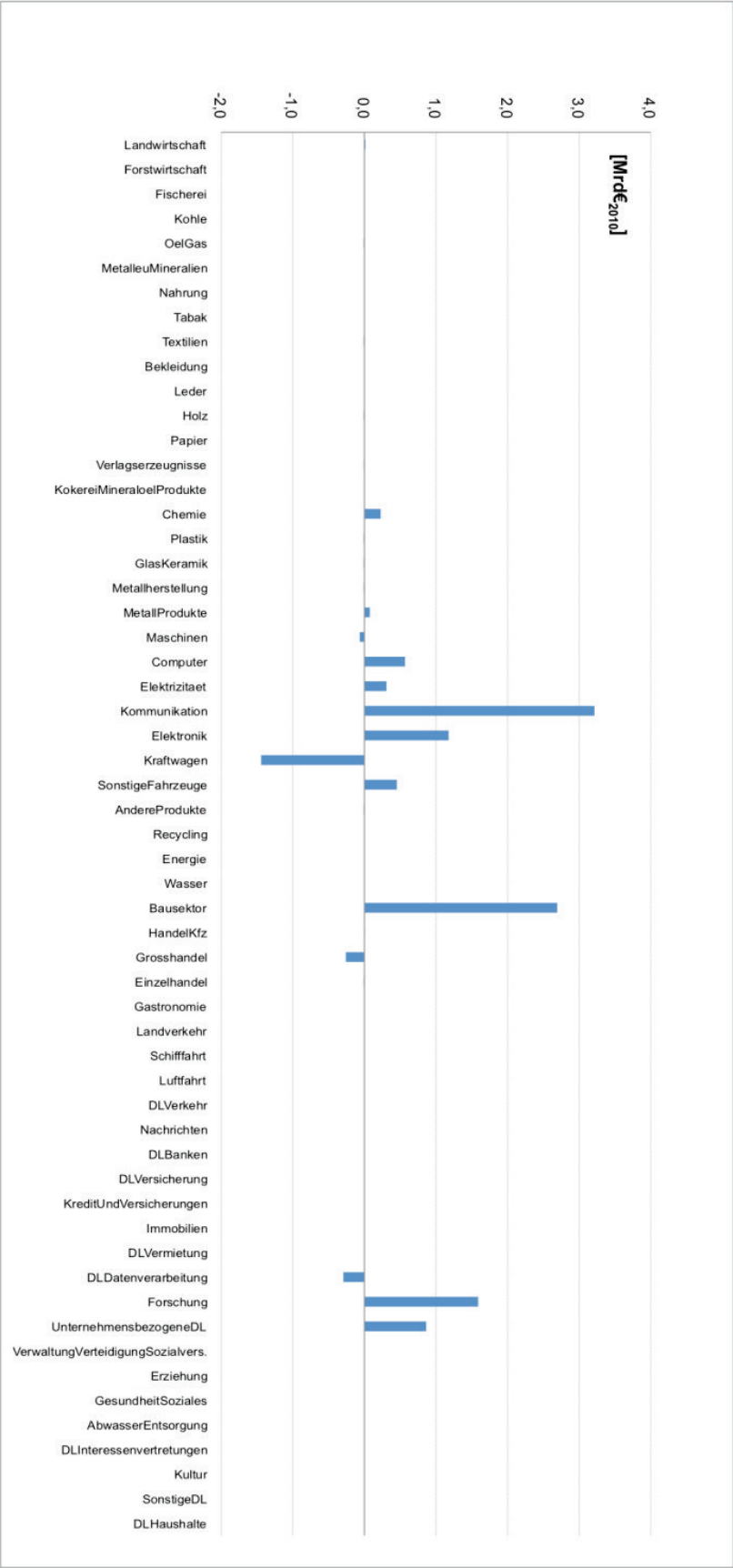


Abbildung 48: Investitionsveränderungen im Vergleich zum Basisszenario in 2020

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Der Sektor mit den deutlichsten Veränderungen im Investitionsverhalten ist dabei der Sektor für Kommunikation, welcher allerdings auch die Herstellung von elektronischen Bauelementen umfasst und damit als ein Zuliefersektor für die Herstellung von Elektrofahrzeugen und Informations- und Kommunikationstechnologien im Verkehr fungiert.

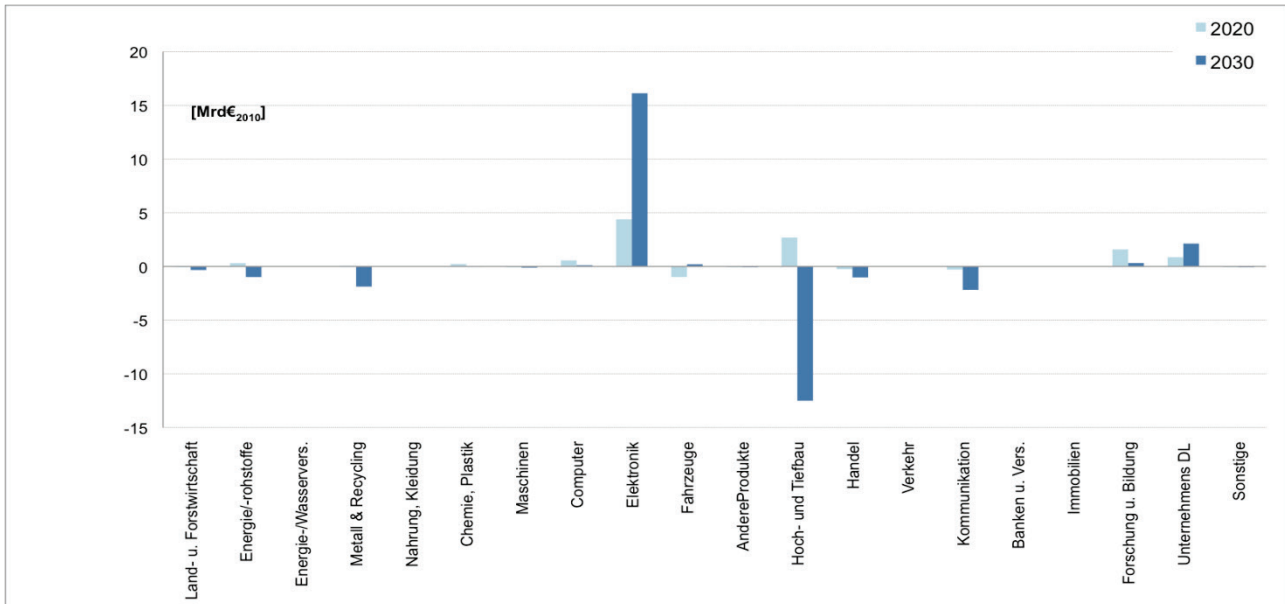


Abbildung 49: Veränderung des Investitionsverhaltens im Vergleich zum Basisszenario (aggregiert)

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Allerdings sind die Änderungen, wie sie in Abbildung 48 gezeigt werden, noch nicht besonders ausgeprägt. Die Hauptunterschiede im Investitionsverhalten zeigen sich – ähnlich wie bei den Konsumveränderungen – erst in 2030. Abbildung 49 vergleicht die Unterschiede in den Hauptsektoren sowohl für 2020 als auch für 2030.

Beide Größen, der Konsum und die Investitionen, fließen in die sektorale Endnachfrage ein. Die Endnachfrage in einem Sektor bewirkt eine intermediäre Nachfrage in einem anderen Sektor. Die Verflechtung der einzelnen Industriesektoren bzw. die gegenseitigen Abhängigkeiten werden volkswirtschaftlich durch Input-Output-Tabellen abgebildet. Diese Tabellen weisen der Nachfrage eines Sektors die resultierende Nachfrage in anderen Sektoren zu, die dem jeweiligen Sektor wichtige Vorprodukte liefern.

Die Input-Output-Tabellen sind dabei die Grundlage für die Ermittlung der Bruttowertschöpfung der einzelnen Sektoren. Die Veränderungen, die in der Nachfrage in einzelnen Sektoren entstehen, bewirken eine dynamische Veränderung in der Nachfrage nach Vorprodukten bzw. Dienstleistungen der anderen Sektoren, da diese veränderte Nachfrage weitere Nachfrageverschiebungen hervorruft. Diese dynamischen Iterationsschritte sind im ASTRA-D-Modell integriert. Damit können die Einflüsse der Veränderungen in den von der veränderten Verkehrsnachfrage betroffenen Sektoren simuliert werden.

Veränderung in der Bruttowertschöpfung unter sektoraler Betrachtung

Die Bruttowertschöpfung schließlich summiert die Veränderungen auf, die sich aus den obigen Verschiebungen sowie den daraus resultierenden Zweitrundeneffekten ergeben. Die größten

Veränderungen ergeben sich dabei im Landverkehrssektor, verursacht durch den Konsum an Verkehrsdienstleistungen und die im Kapitel 3.3.4.1 beschriebenen Lead-Markt-Effekte. Eine größere Veränderung in der Wertschöpfung geschieht auch im Elektroniksektor. Ein weiterer Mischeffekt ergibt sich im Maschinensektor durch die Produktionsumstellung der Maschinenabläufe sowie im Sektor für unternehmensbezogene Dienstleistungen. Der Bau- sowie die Handelssektoren entwickeln sich im Klimaschutzszenario durch den geringeren Konsum wertschöpfungsmäßig schlechter als im Basisszenario

Abbildung 50 bildet die Veränderungen in der Bruttowertschöpfung zwischen Basis- und Klimaschutzszenario für das Jahr 2030 sektoral ab. Der Sektor Landverkehr gewinnt im Vergleich deutlich. Dies erscheint nur konsequent, da die Klassifikation dieses Sektors folgende Tätigkeiten umfasst:

- Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Personen- und Güterbeförderung im Linien- oder Gelegenheitsverkehr auf Schienen und Straßen;
- Hilfs- und Nebentätigkeiten im Zusammenhang mit Bahnhöfen, Häfen etc.

Eine Ausweitung des öffentlichen Nahverkehrs muss mit einer deutlich veränderten Bruttowertschöpfung in diesem Sektor einhergehen. Durch die verstärkten Exporttätigkeiten sind auch mehr Dienstleistungen im Transportbereich nötig; deswegen gibt es auch durch die Veränderung der Handelsbilanz induzierte Veränderungen in diesem Sektor.

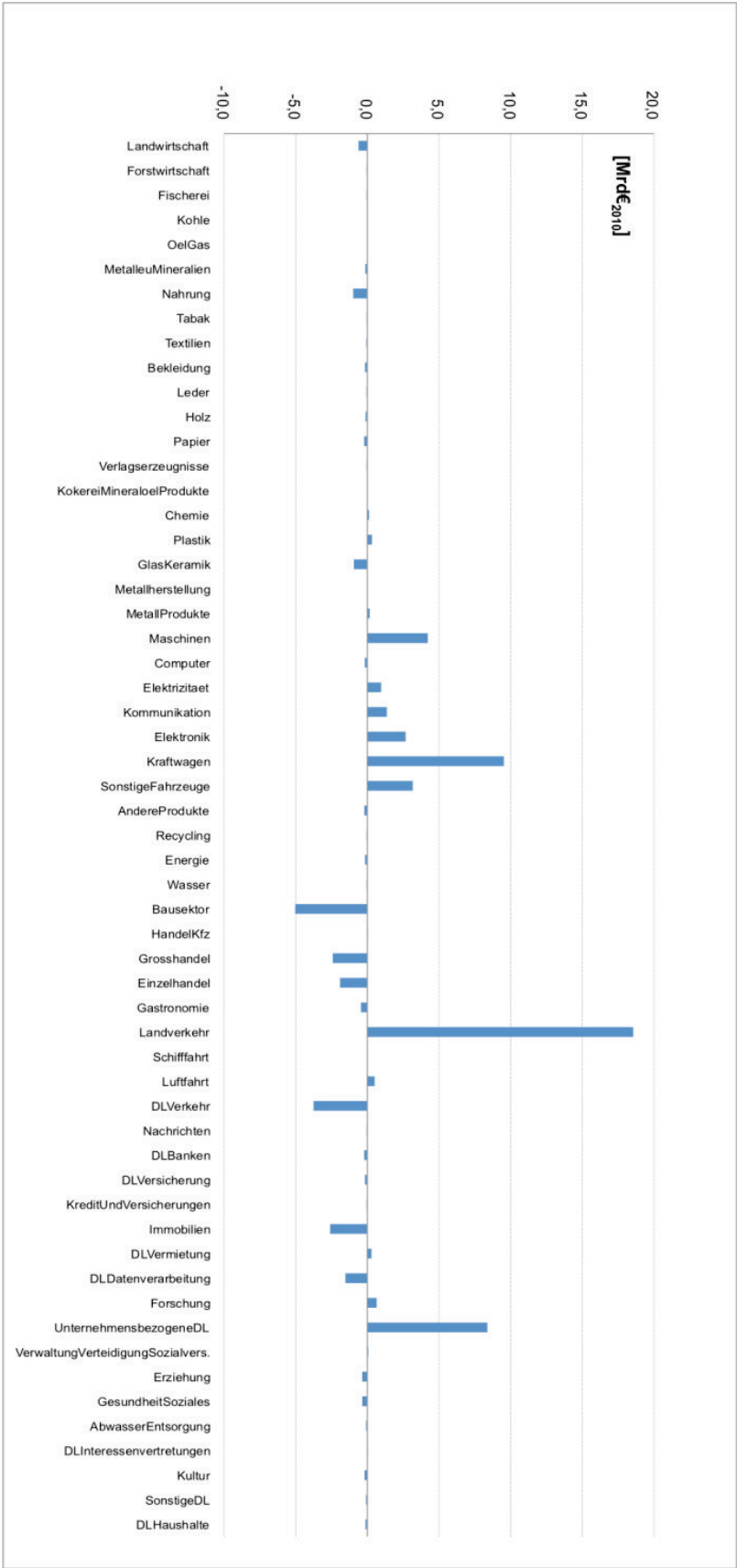


Abbildung 50: Sektorale Unterschiede in der Bruttowertschöpfung im Vergleich zum Basisszenario in 2030

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Der Unterschied zwischen Basis- und Klimaschutzszenario wird im Vergleich der beiden Jahre 2020 sowie 2030 noch deutlicher, wie Abbildung 51 zeigt. Als zweiter Gewinner der Nachfrageveränderung tritt der Sektor der unternehmensbezogenen Dienstleistungen in Erscheinung. Dieser umfasst eine ganze Reihe von unternehmensnahen Dienstleistungen wie Rechtsberatung, Wirtschaftsprüfung, Unternehmensberatung etc. Für den Bereich des ÖPNV scheinen vor allem aber die folgenden Bereiche dieses Sektors interessant zu sein: Architektur- und Ingenieurbüros, technische Untersuchung und Beratung, Personal- und Stellenvermittlung.

Andere volkswirtschaftliche Sektoren, die von einer Änderung in der Verkehrsnachfrage profitieren, sind Sektoren, welche in einem direkten Zusammenhang mit einer Änderung der Fahrzeugproduktion stehen. Diese Sektoren gewinnen offenbar; Verluste haben nur wenige Sektoren zu verzeichnen.

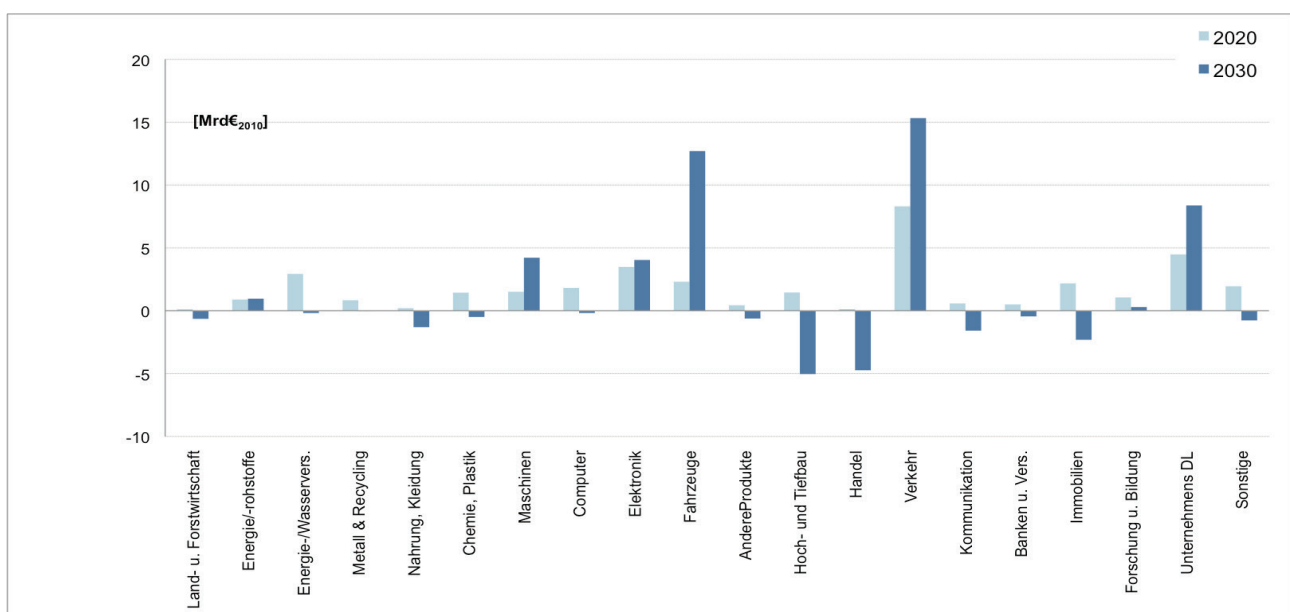


Abbildung 51: Veränderung der Bruttowertschöpfung im Vergleich zum Basisszenario in 2020 sowie 2030 (aggregiert)

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Insgesamt sind die Auswirkungen der Maßnahmen im Klimaschutzszenario für die meisten Bereiche positiv zu beurteilen. Abbildung 51 listet die Veränderungen für die Hauptsektoren analog zum Konsum in Abbildung 51 für 2020 und 2030 auf. In dieser Darstellung wird deutlich, wie sich die Wirkungen der Anschubinvestitionen, welche im Klimaschutzszenario verwendet wurden, im Zeitverlauf unterscheiden, bzw. welchen unterschiedlichen zeitlichen Verlauf die einzelnen Sektoren aufweisen. Somit werden die zeitlich versetzten Wirkungen, welche Investitionen entfalten, deutlicher.

Der Verkehrssektor, die Produktion von Fahrzeugen und unternehmensbezogene Dienstleistungen legen als einzige in der Dekade von 2020 bis 2030 deutlich zu. Bei anderen Sektoren nivellieren sich mit Auslaufen der Investitionen auch die Veränderungen in der Bruttowertschöpfung.

Die Veränderung der Beschäftigung

Aus der Bruttowertschöpfung direkt abgeleitet ist die Beschäftigung unter Verwendung sektoraler Arbeitsproduktivitäten. Die Beschäftigungswirkung hat deutlichere Veränderungen und stärkere Ausschläge als die Wertschöpfungsentwicklung zu verzeichnen, da im Klimaschutzenszenario Sektoren gewinnen, welche eine höhere Arbeitsproduktivität besitzen und Sektoren mit geringerer Produktivität verlieren und deswegen einen überproportionalen Beschäftigungsverlust verzeichnen.

Abbildung 52 zeigt die Veränderung der Beschäftigten im Jahre 2030. Negative Ergebnisse für den Bausektor und die Handelssektoren sind der relativen Größe dieser Sektoren bzw. ihrem Anteil an der Gesamtwertschöpfung geschuldet; bei den unternehmensbezogenen Dienstleistungen ist der Beschäftigtenanteil an der Bruttowertschöpfung höher als im Landverkehrssektor, weswegen dieser Sektor beschäftigungsmäßig den größten Nutzen aus der veränderten Verkehrsnachfrage zieht.

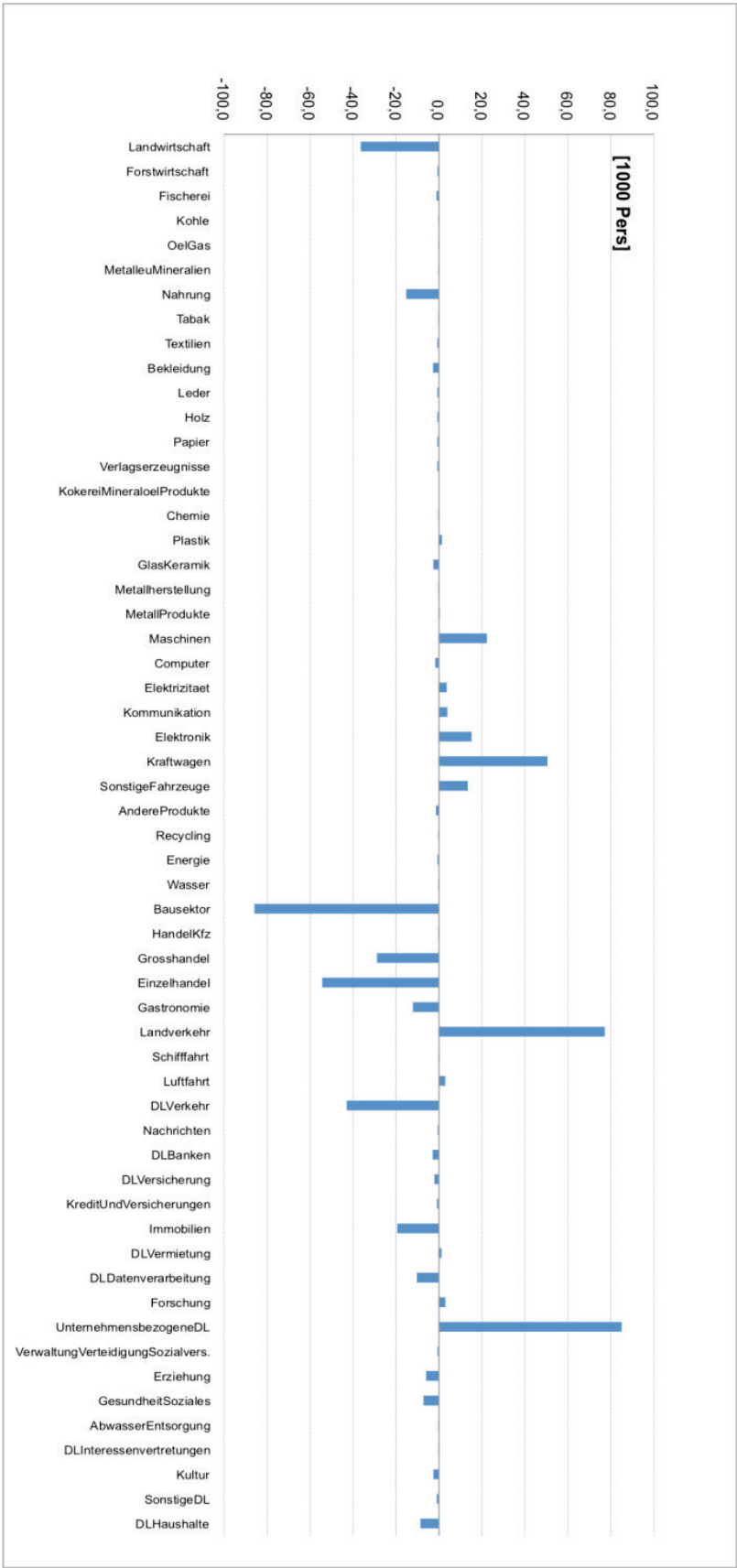


Abbildung 52: Veränderung in der Beschäftigung im Vergleich zum Basisszenario in 2030

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die Bruttowertschöpfung hat direkte Auswirkungen auf die Beschäftigungsveränderungen. Allerdings muss hierbei das Verhältnis zwischen Gesamtwertschöpfung und der Anzahl der Beschäftigten pro Sektor beachtet werden. Die Pro-Kopf-Wertschöpfung unterscheidet sich sektoral zum Teil beträchtlich. Zudem sind, je nach Automatisierungsgrad, auch sektoral unterschiedliche Produktivitätszuwächse hinterlegt, die sich aber in den beiden Szenarien nicht unterscheiden, obwohl dies in den exportorientierten Sektoren als Alternativannahme aufgrund von verstärkten Lerneffekten durchaus denkbar wäre.

Allerdings bleiben in diesem Bereich auch die Sektoren Gewinner bzw. Verlierer, die es schon in der Veränderung der Bruttowertschöpfung sind. Veränderte Produktivitätssteigerungen zwischen den Szenarien sind dabei explizit ausgeklammert worden. Diese haben sich in der Vergangenheit zwar schwankend gezeigt, sind aber pro Sektor im Rahmen eines Korridors geblieben. Ein weiterer Grund für die direkte Kopplung der Anzahl der Beschäftigten an die Entwicklung der Bruttowertschöpfung ist die Schwierigkeit, Einflüsse von Produktionsschwankungen auf die Beschäftigtenanzahl herauszurechnen.

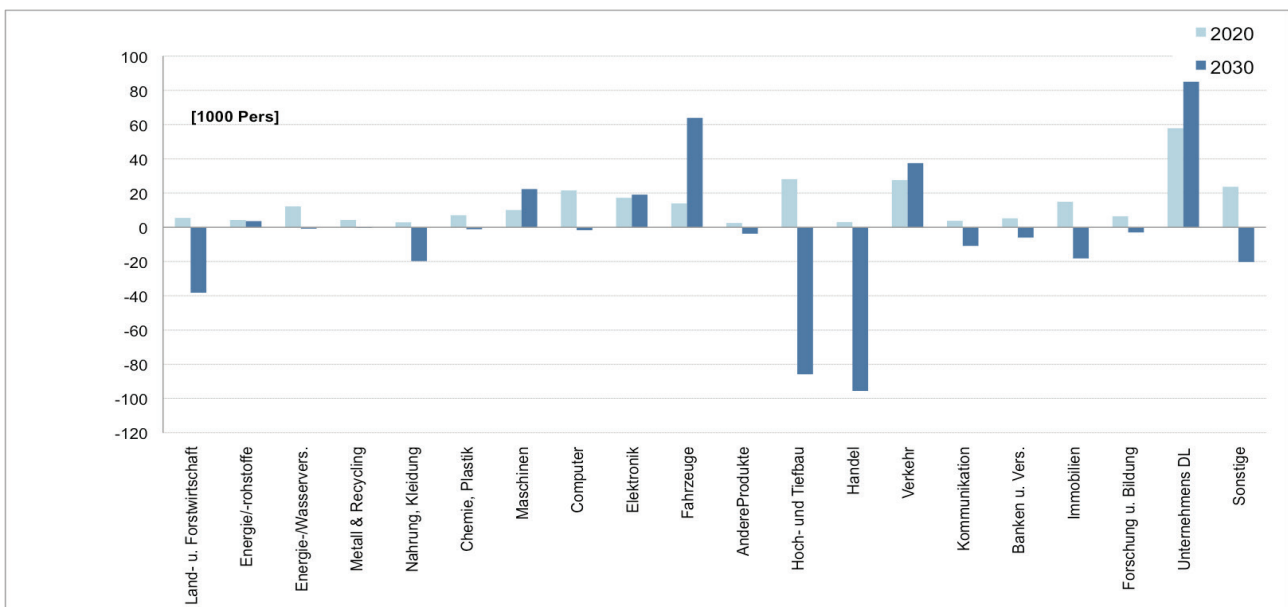


Abbildung 53: Veränderung der Anzahl der Beschäftigten im Vergleich zum Basisszenario in 2020 sowie 2030 (aggregiert)

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Ebenso wie in der Bruttowertschöpfung zeigt sich der Einfluss der Investitionen auf die Beschäftigung im Vergleich 2020 mit 2030 im Zeitverlauf stärker. Kritisch anzumerken bleibt allerdings, dass die Qualifikation der Beschäftigten keine Berücksichtigung gefunden hat. Dies kann sich sowohl positiv wie auch negativ auswirken, wenn nämlich die Sektoren keine adäquaten Arbeitskräfte akquirieren können bzw. die Arbeitsproduktivität sinkt, indem erst Arbeitskräfte umgeschult werden müssen und somit ein höherer Beschäftigungsbedarf entsteht.

Produktsteuer- und Kraftstoffsteueränderungen

Wie sich in der Abbildung 54 und Abbildung 55 zeigt, ergibt sich in der Szenarienberechnung für 2030 eine Erhöhung der Kraftstoffsteuer gegenüber 2020. Die deutliche Erhöhung der Kraftstoffsteuer hat den überwiegenden Anteil an der Zunahme der indirekten Steuern insgesamt.

Die leicht erhöhte Mehrwertsteuer auf Mineralölsteuer für Unternehmen und auf Dienstleistungen im Transportsektor (siehe Abbildung 55) fällt jedoch gering ins Gewicht, denn man kann zeitgleich von einem erhöhten Bruttoinlandsprodukt ausgehen.

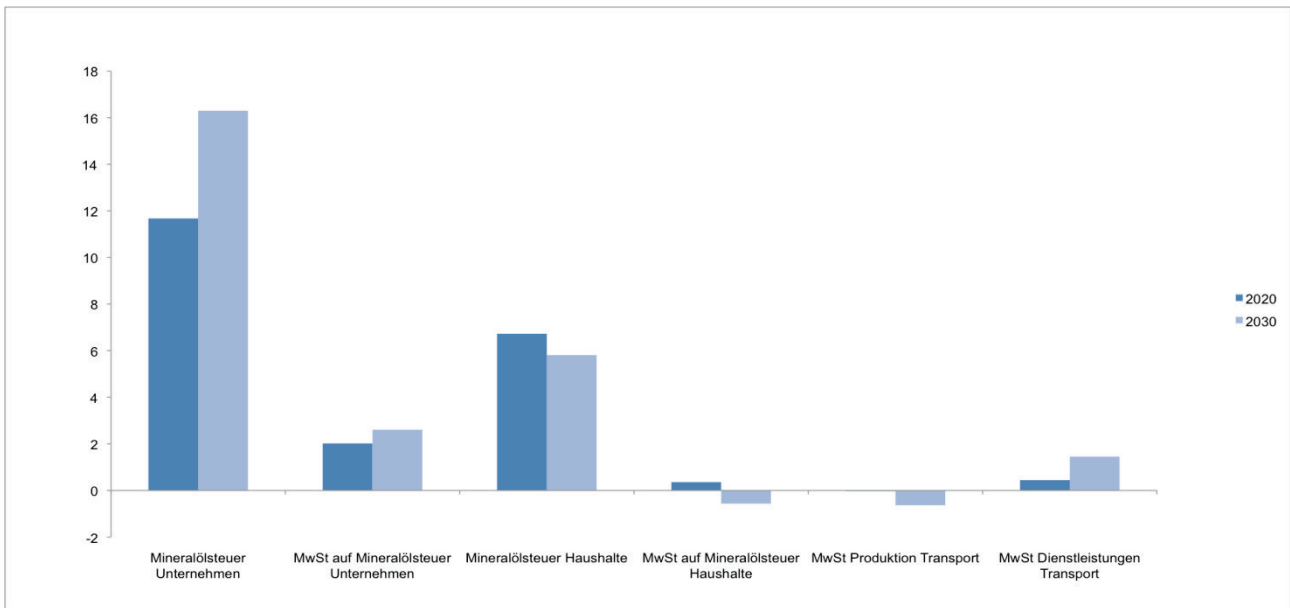


Abbildung 54: Veränderung der Kraftstoffsteuern gegenüber dem Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Aufgrund der geringeren Effizienzpotenziale im Güterverkehr tragen die Unternehmen in 2030 einen höheren Anteil am Anstieg der Kraftstoffsteuern (siehe Abbildung 54). Die Erhöhung der Mineralölsteuer leistet somit den größten Beitrag zur Stabilisierung der Einnahmen aus dem Verkehrssektor.

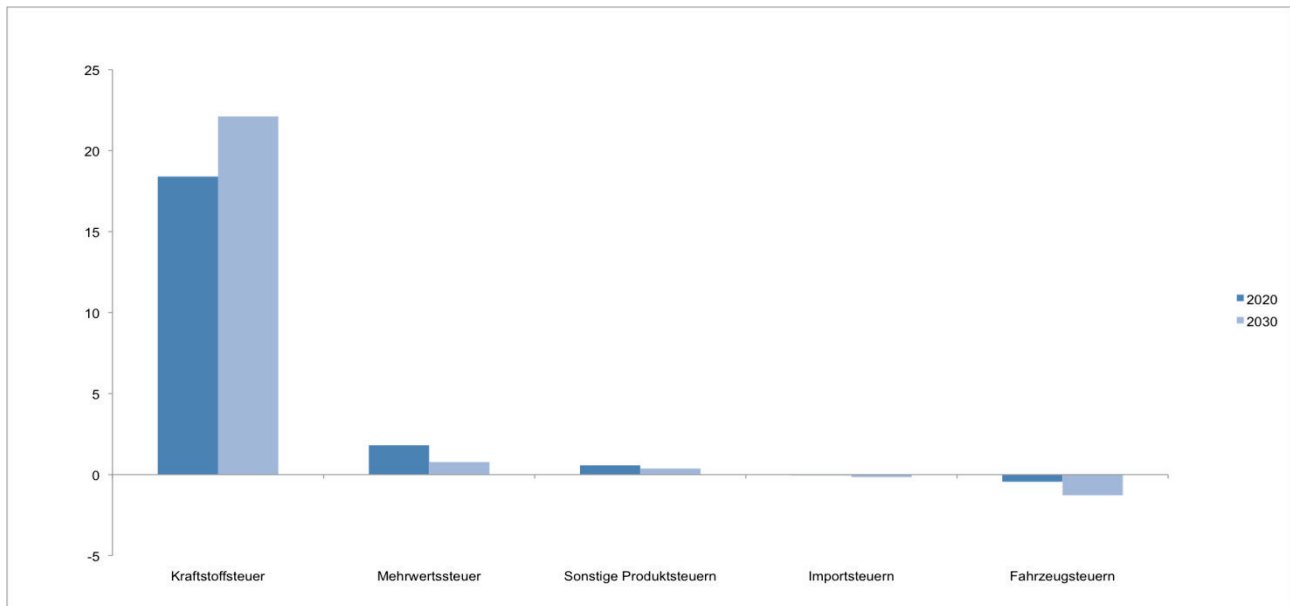


Abbildung 55: Veränderung der Produktsteuern gegenüber dem Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die Darstellung des Bruttoinlandsprodukts in ASTRA-D

Neben der Betrachtung einzelner Wirtschaftsindikatoren kann mit ASTRA-D auch der wichtigste volkswirtschaftliche Einzelindikator abgebildet werden: das Bruttoinlandsprodukt. Die Berechnung des BIP orientiert sich an der Kontenform der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und vereint alle zuvor genannten Größen.

Das Bruttoinlandsprodukt kommt über den Abgleich der Angebots- mit der Nachfrageseite zustande. Während die Beschäftigung in das Produktionspotenzial einfließt und damit der Angebotsseite zugehörig ist, stellen Konsum, Investitionen, der Staatskonsum sowie das Saldo der Handelsbilanz die Nachfrageseite dar. Die Nachfrageseite wird durch das Produktionspotenzial beeinflusst; die sektorale Endnachfrage steuert demgegenüber die Nachfrage nach Arbeit und hat somit indirekt einen Einfluss auf die Angebotsseite. Damit gibt es, gesteuert durch Investitionsimpulse und beeinflusst durch Verkehrsnachfrageveränderungen, Rückkopplungseffekte von der Nachfrage über die Angebots- zurück zur Nachfrageseite.

Die Simulation dieser dynamischen Effekte, welche zeitvariable Ausgleichsfaktoren für Angebot und Nachfrage berücksichtigen und somit ein de-facto-Ungleichgewicht im Zeitverlauf im BIP zulassen können, wird durch das ASTRA-D-Modell ermöglicht.

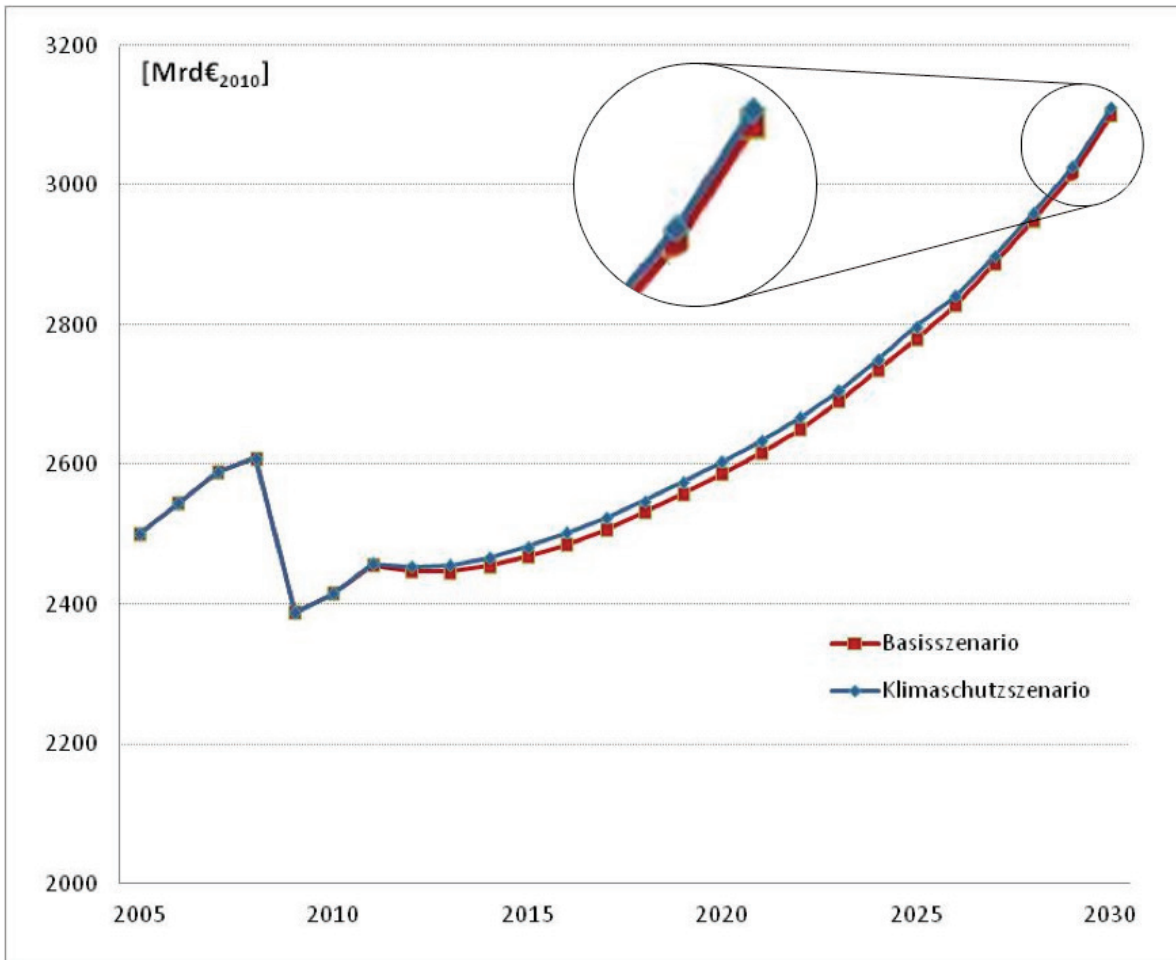


Abbildung 56: Vergleich Bruttoinlandsprodukt im Basis- und Klimaschutzszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Gesamtwirtschaftlich schlägt sich die Änderung der Verkehrsnachfrage nicht wesentlich auf die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes nieder, wie Abbildung 56 zeigt. So beträgt die Differenz zwischen Basisszenario und Klimaschutzszenario im Jahre 2020 +0,68 %, im Jahre 2030 +0,37 %. Die Effekte führen also nicht zu einer Verschlechterung der gesamtwirtschaftlichen Indikatoren; anspruchsvolle Klimaschutzmaßnahmen im Verkehrssektor sind also mit dem Erhalt des Wohlstands vereinbar.

3.3.4.3 Sensitivitätsanalysen der BIP Ergebnisse

Innerhalb der volkswirtschaftlichen Modellierung sind verschiedene Unsicherheiten zu berücksichtigen bzw. es sind Alternativannahmen möglich, die ähnlich plausibel wie Annahmen sind, welche der Basismodellierung zugrunde liegen. Das Investitionsverhalten (die externen Investitionen, welche in Kapitel 3.3.4.1 beschrieben wurden) sowie die Annahmen bezüglich der Änderung der internationalen Handelsströme (siehe dazu ebenfalls Kapitel 3.3.4.1) sind Einflussgrößen auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und wichtige externe Szenarioparameter. Um die Größe ihres Einflusses auf das Bruttoinlandsprodukt abschätzen zu können, wurden diese Werte einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, so dass das Niveau der zusätzlichen Investitionen in verschiedenen Stufen abgesenkt wurde (90 %, 70 %, 50 %, 0 % der

Investitionen des Klimaschutzszenarios) und zum anderen auch die Lead-Markt induzierten Exporte auf null gesetzt wurden. Die Importe wurden nicht in die Sensitivitätsanalyse einbezogen, da sich die Verminderung des Energieimportes aus den Annahmen zum Mobilitätsverhalten im Klimaschutzszenario ergibt.

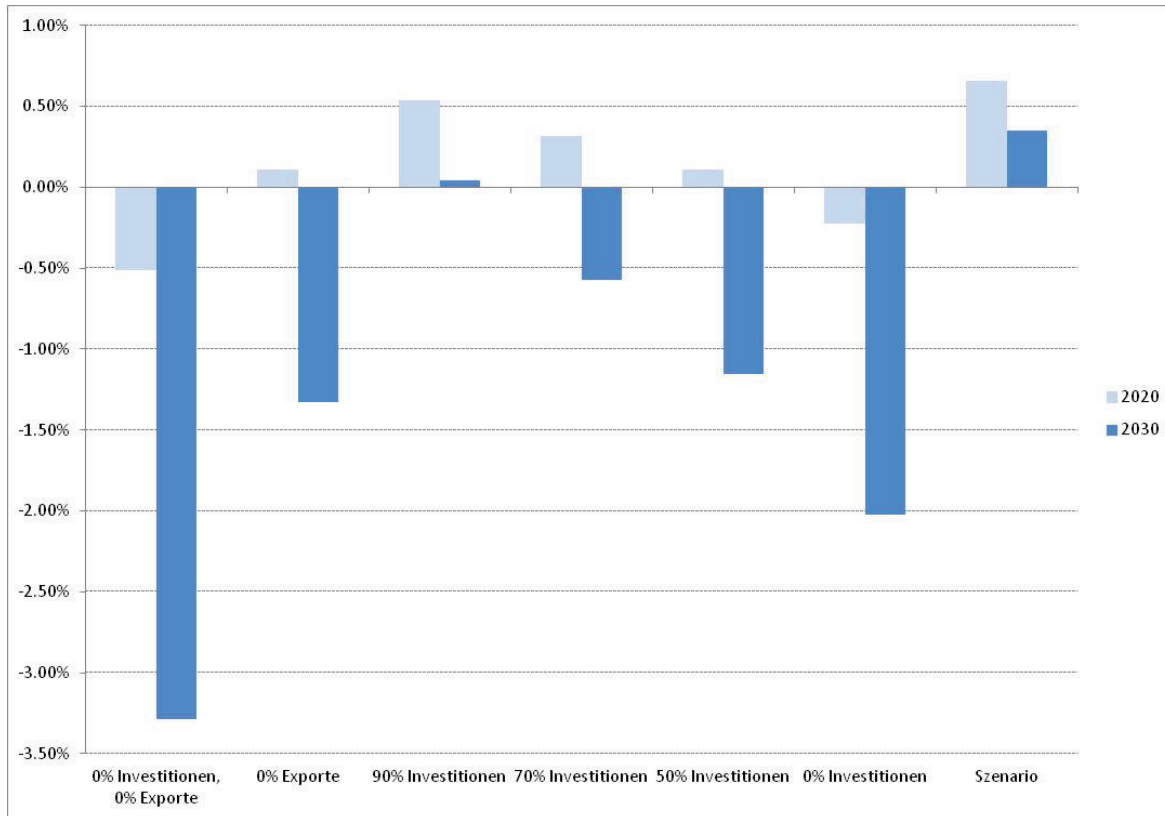


Abbildung 57: Sensitivität Ergebnisse BIP im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Abbildung 57 zeigt die Auswirkungen, welche die verschiedenen Annahmen zu Investitionen und Exporten auf das BIP haben. Bis auf die Szenarien mit 0 % zusätzlichen Investitionen liegen die Ergebnisse in 2020 über dem Basisszenario, in 2030 allerdings bis auf das 90 %-Investitionsszenario unter dem Basisszenario. Die größten Abweichungen sind in dem Szenario zu verzeichnen, in welchem keine zusätzlichen Investitionen getätigt und keine Exporterfolge erzielt wurden. In diesem Fall ergibt sich ein um 3,3 % vermindertes BIP in 2030.

Allerdings ist eine Verminderung des BIP um 3,3 % in 2030 auch nur äquivalent zum Wachstumsverlust von etwa zwei Jahren; ob dies in Relation zum Prognosehorizont von zwei Jahrzehnten einen nicht hinnehmbaren Verlust darstellen würde, kann durchaus differenziert beurteilt werden. Kritisch anzumerken ist bei der Betrachtung der Sensitivitäten jedenfalls die Erreichbarkeit der vorgegebenen Verkehrsnachfrageziele ohne zusätzliche Investitionen. Ob zur Zielerreichung alleine autonome Verhaltensänderungen oder Effizienzgewinne beitragen können und die Verschiebung hin zu einem ökologisch kompatibleren Mobilitätsverhalten ohne weitere Anreize vonstattengeht, ist angesichts der bisherigen historischen Entwicklung als fraglich einzuschätzen.

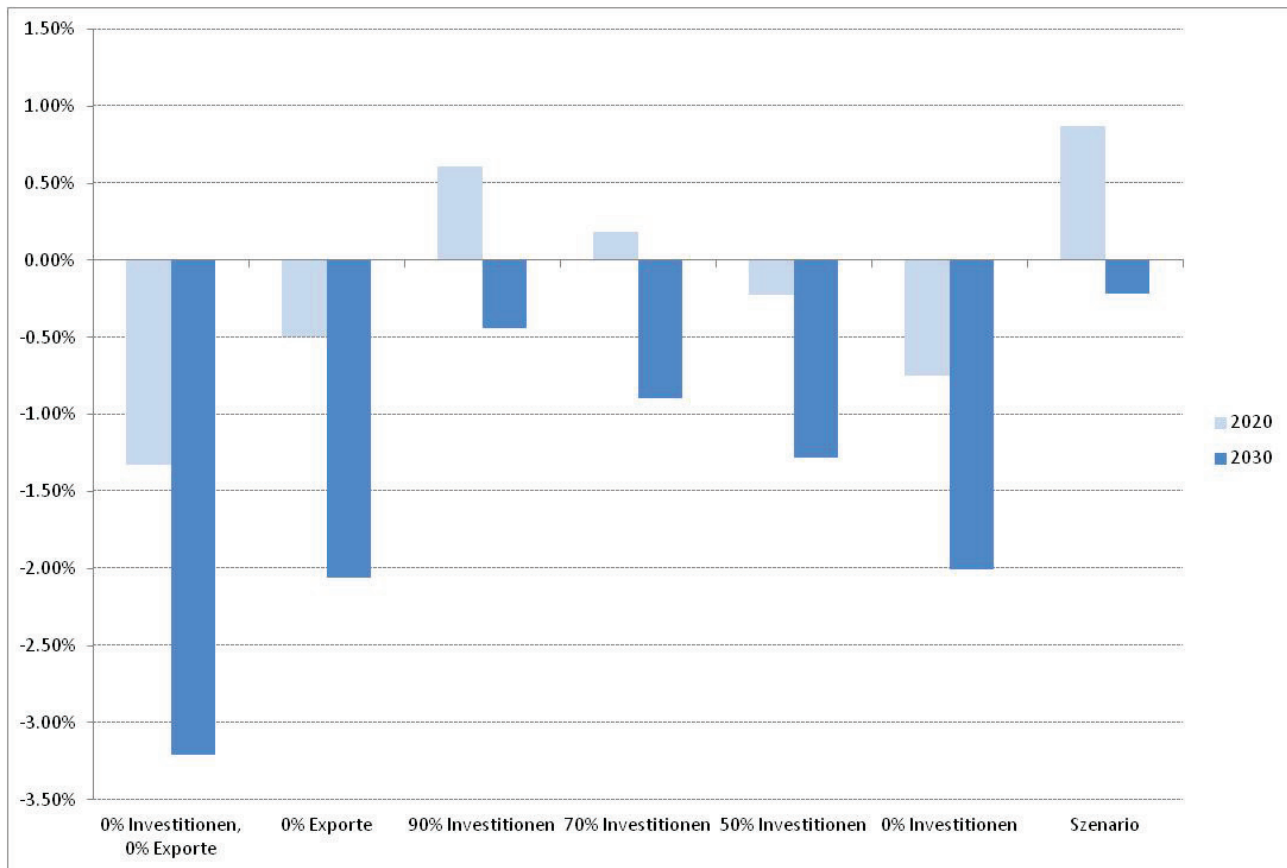


Abbildung 58: Sensitivität Ergebnisse Gesamtbeschäftigung im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Die Beschäftigungswirkung ist teilweise stärker, teilweise schwächer ausgeprägt, wie Abbildung 58 zeigt. Die Begründung hierfür ist in der unterschiedlichen sektoralen Entwicklung zu suchen. Dennoch zeigt sich eine starke Gleichgerichtetheit der Werte: der Pearsonsche Korrelationskoeffizient zwischen den BIP- und den Beschäftigungsveränderungen liegt für 2020 bei 0,987, für 2030 bei 0,979. Weniger deutlich ist die Übereinstimmung der BIP-Ergebnisse mit den Staatseinnahmen: hier zeigen sich die positiven Effekte der Steuererhöhungen auf den Staatshaushalt; die Entwicklung der übrigen, vor allem der indirekten Steuern hat weniger großen Einfluss. Allerdings zeigt auch Abbildung 59, dass die Einnahmendifferenz zum Basisszenario im Klimaschutzszenario am größten ist.

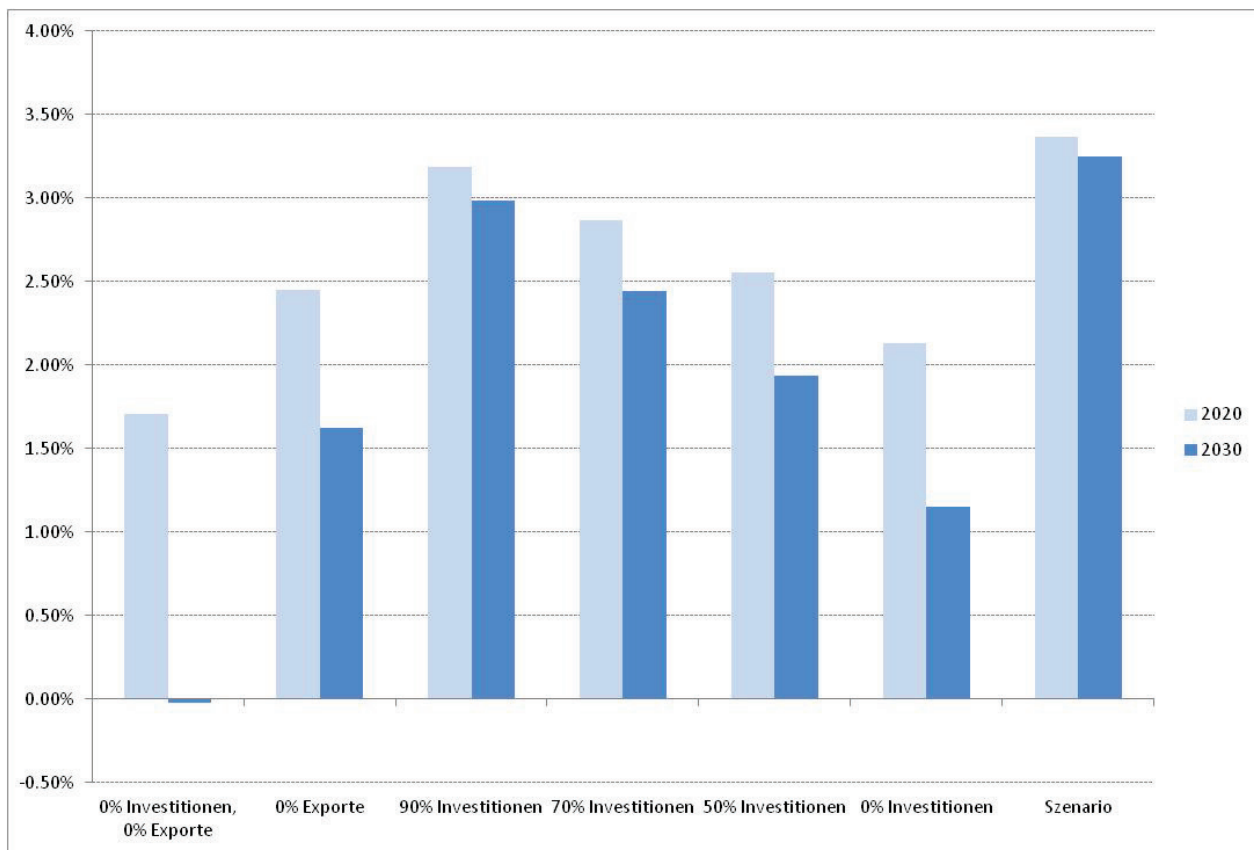


Abbildung 59: Sensitivität Ergebnisse Staatseinnahmen im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Diese Einnahmendifferenz wird ausschließlich zur Senkung des Staatsdefizits verwendet. Das stellt eine konservative Annahme dar; andere Möglichkeiten sind durchaus auch vorstellbar und diese Möglichkeiten können das Gesamtergebnis entscheidend verändern.

Abbildung 59 vermittelt, wie die Auswirkungen einer Alternativannahme zur Einnahmenverwendung auf Staatsseite aussehen könnten. Die zusätzlich erhobenen oder erhöhten Steuern können auch statt zum Schuldenabbau zur Senkung der Einkommenssteuer verwendet werden, was mit einer damit einhergehenden Konsumankurbelung einhergeht. Unter dieser Annahme entwickelt sich die Gesamtwirtschaft durchweg positiver als im Basisszenario. In Abbildung 60 ist der Anteil variiert, welcher dieser alternativen Mittelverwendung zugeführt wird. Auch in dem Fall von nur 50 % der in Kapitel 3.3.4.1 angenommenen Investitionssummen, in welchem eine deutliche Absenkung des BIPs zu verzeichnen ist (siehe Abbildung 57), wird mit der Alternativannahme dieses Minus in ein deutliches Plus umgekehrt.

Inwiefern eine höhere BIP-Entwicklung wünschenswert ist, soll an dieser Stelle nicht diskutiert werden; hierzu wird auf die einschlägige Literatur verwiesen, welche die problematische Beziehung zwischen Wirtschaftswachstum und ökologischem Impact differenzierter darstellen kann, als dies hier möglich ist. Es sei lediglich angemerkt, dass klimafreundlicheres Mobilitätsverhalten nicht zwangsweise mit einer wirtschaftlichen „Schwächung“ einhergehen muss.

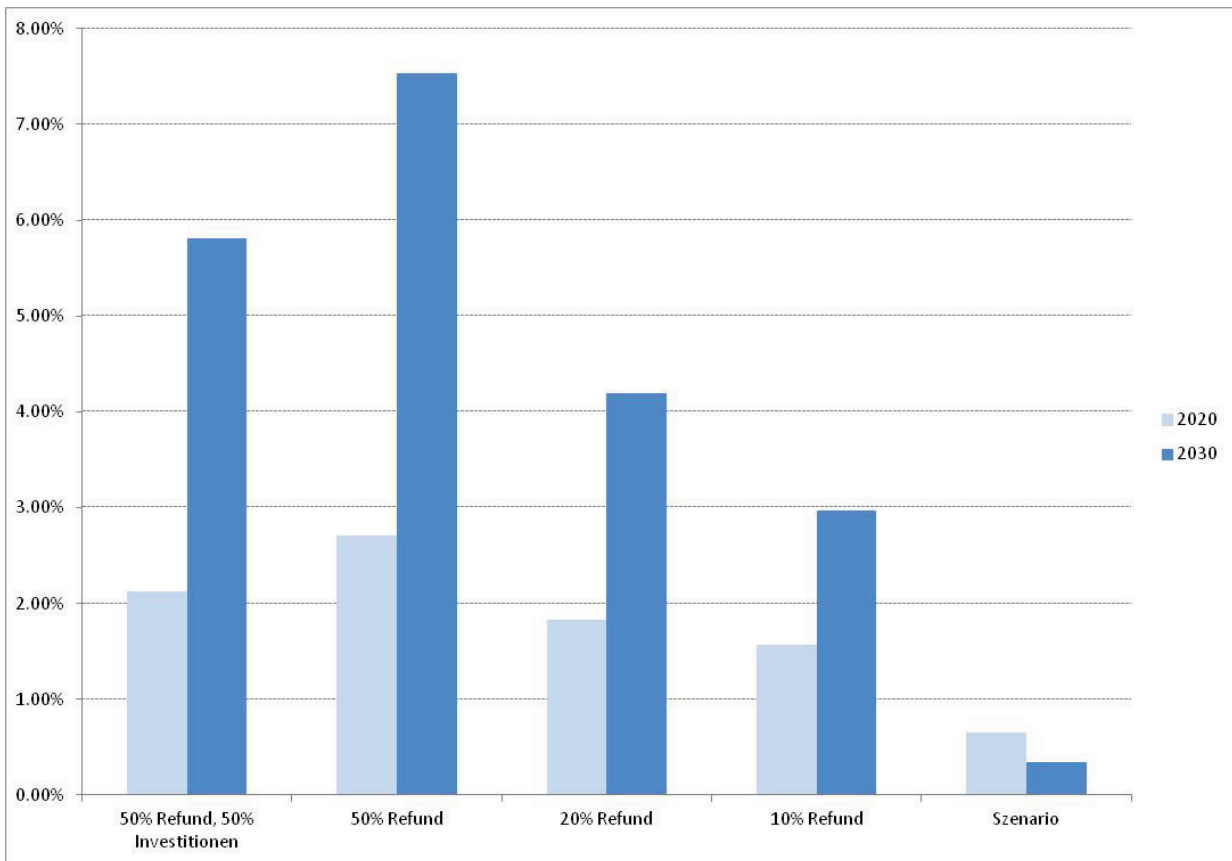


Abbildung 60: Weitere Sensitivitäten Ergebnisse BIP im Vergleich zum Basisszenario

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Zusammenfassend lässt sich zu den Sensitivitätsanalysen festhalten, dass die Mittelverwendung des Staates wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse nimmt. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen einer früheren Studie, welche einen erheblichen positiven Effekt alternativer Mittelverwendung gegenüber der konservativen Annahme des Schuldenabbaus festgestellt hat (Köhler et al. 2004). Es zeigt sich, dass es wichtig ist, in der Modellierung die ökonomischen Kreisläufe zu schließen.

3.3.5 Einordnung der Szenarioergebnisse von Renewbility II

3.3.5.1 Die Szenarioergebnisse im Kontext des Vorgängervorhabens Renewbility I

Bereits im Vorgängervorhaben Renewbility I wurde ein Basisszenario entwickelt, welches auf etablierten Prognosen aufsetzte und die zum damaligen Zeitpunkt gültigen bzw. absehbaren Regulierungen im Verkehrssektor berücksichtigt. Ferner wurde ein Klimaschutzszenario entwickelt, welches sich durch eine deutlich ambitioniertere Maßnahmenausgestaltung und eine entsprechend höhere Treibhausgasreduzierung bis zum Jahr 2030 gegenüber der Basisentwicklung auszeichnete.

Dennoch sind die Ergebnisse der Szenarien aus den beiden Projekten – insbesondere die Klimaschutzszenarien – nicht direkt miteinander vergleichbar. Hauptgrund hierfür sind die deutlich veränderten sozio-ökonomischen Rahmendaten in Renewbility II, die bereits im Basisszenario deutlich veränderte Ausgangsbedingungen zwischen Renewbility I und II

darstellen (vgl. Kapitel 3.2.1). Die gegenüber Renewbility I zusätzlich erzielte Treibhausgasminderung im aktuellen Klimaschutzscenario muss daher im Kontext einer veränderten Basisentwicklung interpretiert werden.

Das im Rahmen des Projekts Renewbility II entwickelte Klimaschutzscenario geht mit einer Minderung der Treibhausgasemissionen um mehr als 37 % gegenüber dem Basisjahr 2005 deutlich über die im Klimaschutzscenario des Vorgängerprojekts Renewbility I erzielte Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 23 % hinaus. Verantwortlich für diese im Vergleich höhere Treibhausgasminderung sind aber nicht alleine die ambitionierteren Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr. Auch die gegenüber Renewbility I deutlich veränderten Rahmenbedingungen haben einen großen Einfluss. Eine direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Klimaschutzscenarios ist daher nur bedingt möglich und sollte für eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse im Kontext des jeweiligen Basisszenarios erfolgen.

Das Basisszenario in Renewbility II unterscheidet sich von Renewbility I vor allem in Bezug auf die Berücksichtigung der durch die Wirtschafts- und Finanzkrise veränderten sozio-ökonomischen Rahmendaten sowie der aktuellen EU-Emissionsstandards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. So führt ein geringeres Wirtschaftswachstum im Basisszenario zu einem geringeren Anstieg des Güterverkehrsaufkommens. Während dieses in Renewbility I bis 2030 noch um über 90 % ansteigt (im Vergleich zu 2005), fällt das Wachstum in Renewbility II im selben Zeitraum mit etwa 75 % deutlich geringer aus. In Renewbility II kann daher der Güterverkehr anders als im Vorgängerprojekt bereits im Basisszenario den Trend ansteigender Treibhausgasemissionen nach 2020 umkehren. Zusätzlich fällt die Minderung der Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs im Basisszenario von Renewbility II höher aus als im Vorgängerprojekt. Ursache ist die Berücksichtigung ambitionierter CO₂-Emissionsstandards bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist daher zu beachten, dass das Renewbility II-Klimaschutzscenario auf einem deutlich geringeren Emissionsniveau im Basisszenario aufbaut: 2030 werden im Renewbility II-Basisszenario 22 Mio. Tonnen Treibhausgase weniger emittiert als im Basisszenario des Vorgängerprojekts. Darüber hinaus führt die ambitioniertere Ausgestaltung der Maßnahmen in Renewbility II zu einer gegenüber Renewbility I zusätzlichen Treibhausgasminderung in Höhe von 9 Mio. Tonnen. Im Renewbility II-Klimaschutzscenario werden daher 2030 insgesamt 31 Mio. Tonnen Treibhausgase weniger emittiert als im Klimaschutzscenario von Renewbility I.

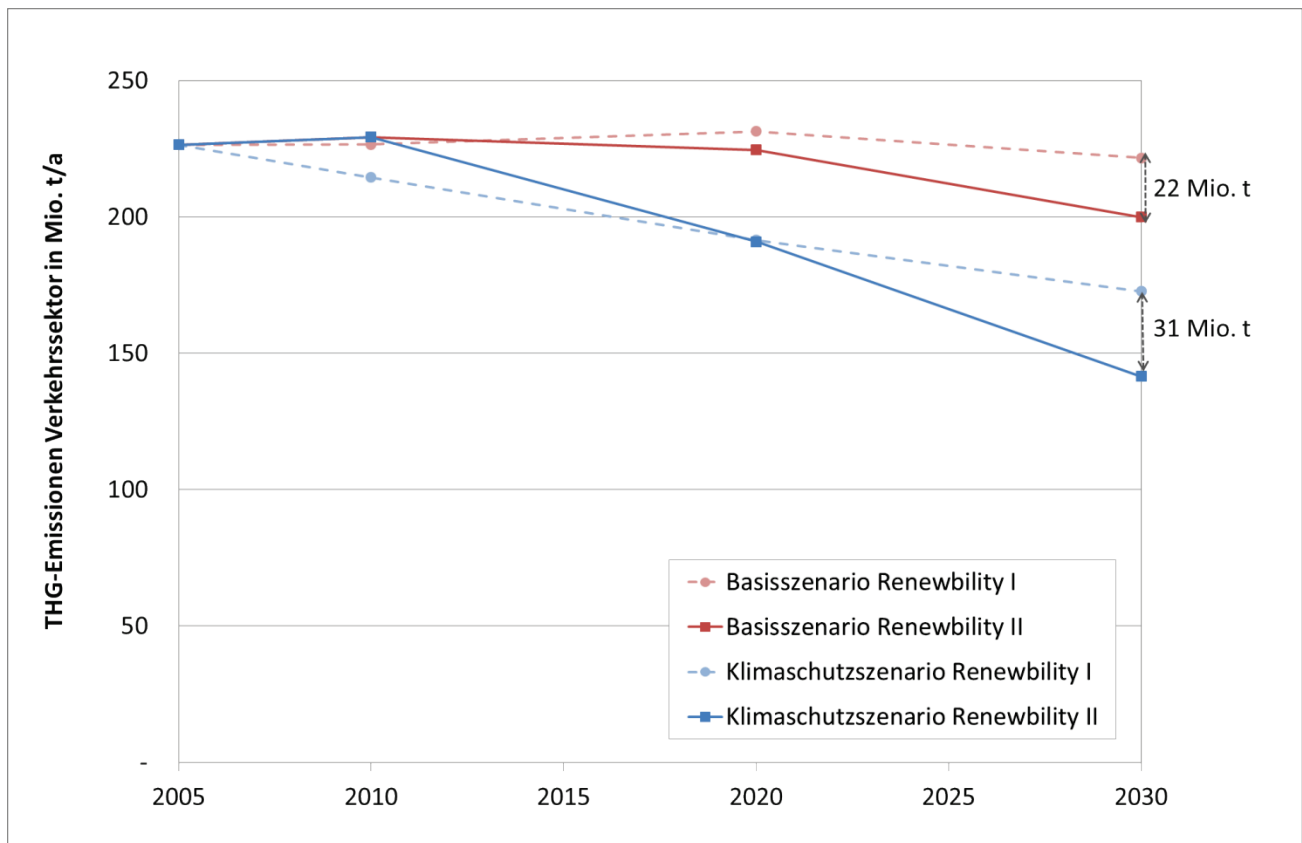


Abbildung 61: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr – Vergleich der Szenarioergebnisse aus Renewbility I und Renewbility II

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

3.3.5.2 Die Szenarioergebnisse im Kontext der Klimaschutzberichterstattung

Anders als im Projekt Renewbility werden in der nationalen und internationalen Klimaschutzberichterstattung gemäß den Vereinbarungen im Kyoto-Protokoll nur die direkten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors betrachtet. Darüber hinaus wird die Entwicklung der Treibhausgasemissionen nicht auf das Jahr 2005, sondern auf die Ausgangssituation im Jahr 1990 bezogen. 1990 betrugen die direkten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors 169 Mio. Tonnen. Sie erreichten 1999 mit 187 Mio. Tonnen ihren Höhepunkt. Bis 2005 sanken die Emissionen um etwa 14 % auf 161 Mio. Tonnen – die Emissionen des Straßenverkehrs nahmen in diesem Zeitraum ab, die des Flugverkehrs zu (UBA 2010b).

Um eine Einordnung der Ergebnisse aus Renewbility II in den Kontext der Klimaschutzberichterstattung zu ermöglichen, müssen von den bisher angegebenen gesamten Emissionen die indirekten Emissionen (Vorkettenemissionen und Materialvorleistungen) abgezogen werden. Für das Klimaschutzscenario in Renewbility II ergeben sich direkte Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 139 Mio. Tonnen im Jahr 2020 und von rund 103 Mio. Tonnen im Jahr 2030. Die Annahmen und Maßnahmen für den Verkehrsbereich, die von der Szenariogruppe zusammengestellt wurden, könnten damit bis 2020 wesentlich zu den nationalen Klimaschutzziele beitragen: Eine Minderung der direkten Treibhausgasemissionen des Verkehrs um etwa 18 % wird im Klimaschutzscenario erreicht (im Vergleich zu 1990). Bis

2030 sinken die direkten Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario um 39 % gegenüber 1990.

Dabei ist zu beachten, dass der internationale Luft- und Seeverkehr nicht Gegenstand der Betrachtung waren. Diese Bilanzgrenze passt zur Berichterstattung unter dem Kyoto-Protokoll, da der internationale Luft- und Seeverkehr dort nur „nachrichtlich“ gemeldet wird und nicht Bestandteil der nationalen Gesamtinventare ist. Nach dem nationalen Inventarbericht Deutschlands machten die Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs im Jahr 2010 rund 18 % der gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs aus, während ihr Anteil zwanzig Jahre zuvor noch bei 11 % lag (UBA 2010b). Im Kontext einer langfristigen Klimaschutzstrategie für den Verkehrssektor ist es daher wesentlich, auch diese stark wachsenden Bereiche in zukünftige Betrachtungen einzubeziehen und Maßnahmen zur Treibhausgasminderung zu formulieren.

3.3.5.3 Die Szenarioergebnisse im Kontext energie- und umweltpolitischer Zielsetzungen

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich langfristige Klimaschutzziele gesetzt, die bis zum Jahr 2050 einer nahezu vollständigen Dekarbonisierung unseres Wirtschaftens entsprechen. Um dieses Ziel erreichen zu können, ist neben dem zunehmenden Verzicht auf nicht-regenerative Energieträger eine deutliche Minderung des Endenergieverbrauchs in allen Sektoren notwendig.

Im Energiekonzept der Bundesregierung (Bundesregierung 2011) wurden erstmalig konkrete Minderungsziele für den Endenergiebedarf im Verkehr formuliert. Bis zum Jahr 2020 soll der Verkehr seinen Endenergiebedarf gegenüber 2005 um 10 % und bis zum Jahr 2050 um 40 % reduzieren. Wie dieses Ziel jeweils erreicht werden soll, wird nicht näher ausgeführt.

Das Basis- und Klimaschutzszenario in Renewability II stellen zwei mögliche Entwicklungen für den Verkehrssektor bis zum Jahr 2030 dar. Im Kontext der formulierten Energieziele der Bundesregierung ergibt sich folgendes Bild (vgl. auch Abbildung 62).

Im Basisszenario wird das Ziel der Bundesregierung einer Minderung um 10 % im Jahr 2020 deutlich und selbst im Jahr 2030 mit -4,5 % noch klar verfehlt. Im Klimaschutzszenario kann das Ziel im Jahr 2020 mit -14 % hingegen übertroffen werden. Während die Basisentwicklung im Zeitverlauf eine immer größere Diskrepanz zum formulierten Langfristziel für das Jahr 2050 (-40 %) aufweist, befindet sich die Entwicklung des Klimaschutzszenarios auf einem Entwicklungspfad, der sich dem 2050-Ziel annähert. Es wird also deutlich, dass nur mit einem ambitionierten Maßnahmen-Mix wie dem des Klimaschutzszenarios die Ziele der Bundesregierung erreicht werden können.

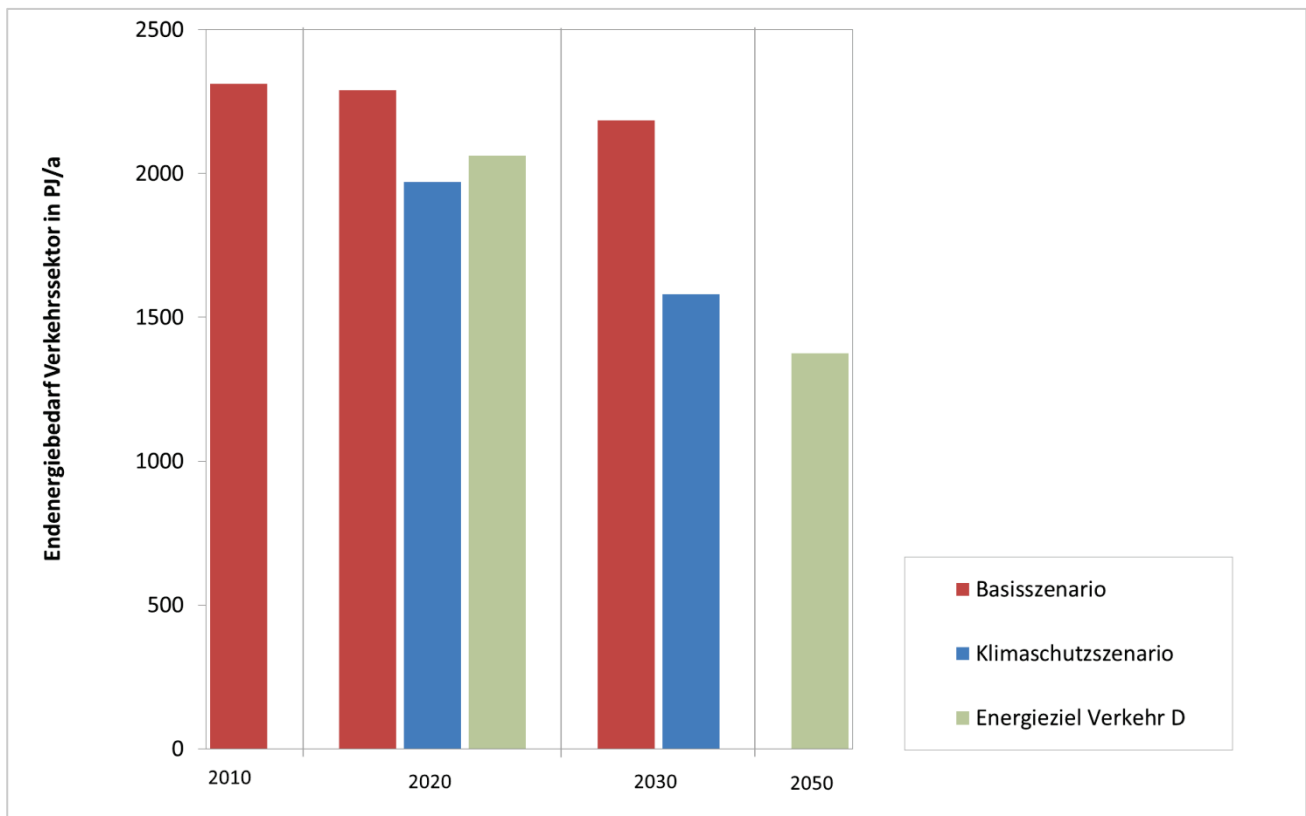


Abbildung 62: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Basis- und Klimaschutzscenario im Kontext des Energieziels für den Verkehr

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

Für den Verkehrssektor wurden bisher keine nationalen Treibhausgasminderungsziele formuliert. Sektorübergreifend hat sich Deutschland jedoch zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 bis zum Jahr 2020 um 40 %, bis zum Jahr 2030 um 70 % und bis 2050 um 80 % bis 95 % zu reduzieren (Bundesregierung 2011). Im Rahmen der „Effort Sharing Decision“ wurden auf europäischer Ebene jedoch verbindliche nationale Minderungsziele für Sektoren vereinbart, die nicht dem Europäischen Emissionshandelssystem (ETS) unterliegen (so auch der Verkehrssektor). Deutschland muss die Emissionen aus den betreffenden Sektoren laut dieser Vereinbarung bis zum Jahr 2020 gegenüber 2005 um 14 % mindern (EU 2009b). Im EU-Weißbuch Verkehr werden Ziele zur Minderung der EU-weiten verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ausgangsjahr 2008 von 20 % bis zum Jahr 2020 und 70 % bis 2050 formuliert (EC 2011).

Auch hier zeigt der Vergleich (siehe Abbildung 63), dass das Basisszenario (bis 2020 -3 % gegenüber 2010) die genannten Treibhausgasziele im Betrachtungszeitraum deutlich verfehlt, während das Klimaschutzscenario sich im Jahr 2020 (-17 % gegenüber 2005) im Bereich der Zielvorgabe für Nicht-ETS-Sektoren bzw. der Zielformulierung aus dem EU-Weißbuch Verkehr befindet. Auch ist das Klimaschutzscenario im Jahr 2030 auf einem Entwicklungspfad, welcher die Erreichung des Langfristziels aus dem EU-Weißbuch Verkehr im Jahr 2050 realisierbar erscheinen lässt.

Jedoch erreicht auch das Klimaschutzscenario nicht die sektorübergreifend formulierten nationalen Treibhausgasminderungsziele. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass selbst bei der anspruchsvollen Maßnahmenausgestaltung im Klimaschutzscenario der Verkehrssektor weiterhin einen unterdurchschnittlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten würde und die Zielerreichung nur sichergestellt wäre, wenn andere Sektoren einen über den sektorübergreifenden Zielen liegenden Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen liefern würden.

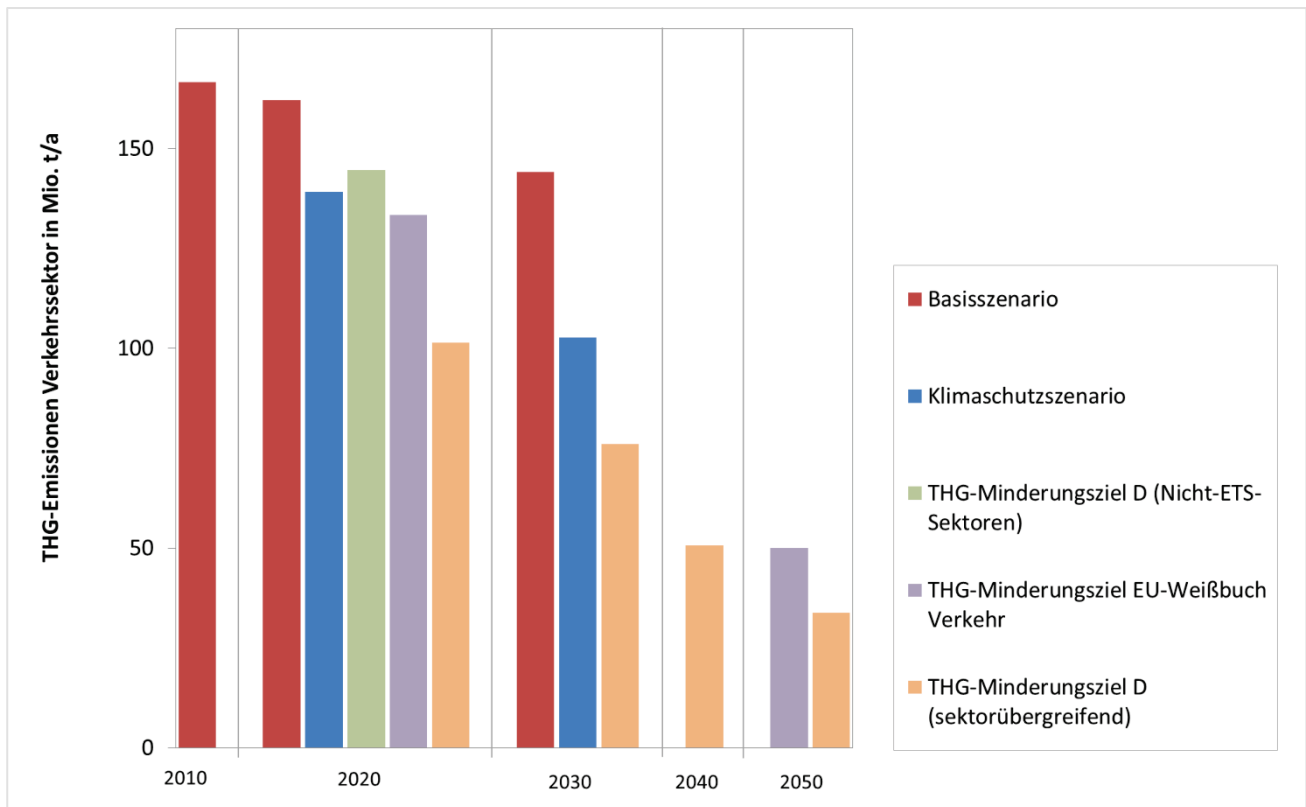


Abbildung 63: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Basis- und Klimaschutzscenario im Kontext nationaler / europäischer Minderungsziele

Quelle: eigene Berechnung/Darstellung

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt Renewbility

Wie kann der Personen- und Güterverkehr in Zukunft klimaschonender gestaltet werden? Diese Frage wollte das Forschungsprojekt Renewbility II beantworten – und untersuchte dabei anhand konsistenter Szenarien, wie die Treibhausgasemissionen des Verkehrs bis 2030 deutlich gesenkt werden können.

In Anknüpfung an das Forschungsprojekt „Renewbility – Stoffstromanalyse im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“ (Renewbility I) entwickelten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Öko-Instituts, des Instituts für Verkehrsforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR-IVF) und des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer-ISI) den bestehenden Modellverbund gemeinsam weiter. Die Modelle ermöglichten es, die gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs – sowohl die von den Verkehrsmitteln direkt emittierten Treibhausgase als auch die bei der Kraftstoff- und Fahrzeugproduktion entstehenden Emissionen – für unterschiedliche Szenarien bis 2030 zu quantifizieren.

Die in Renewbility II entwickelten Szenarien folgten diesen Leitgedanken:

- Das Basisszenario sollte aktuelle Prognosen in Bezug auf die sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen sowie bestehende rechtliche Regelungen berücksichtigen.
- Die Ausgestaltung des Klimaschutzszenarios sollte unter der Maßgabe eines möglichst hohen, aber auch realisierbaren Klimaschutzbeitrags des Verkehrs bis 2030 erfolgen und über die Treibhausgasminderung im Klimaschutzszenario von Renewbility I hinausgehen.

Begleitung durch Stakeholder

Gleichermaßen wie das Vorgängervorhaben wurde das Forschungsprojekt Renewbility II durch Stakeholder aus der Automobil-, Bahn-, Energie- und Logistikbranche sowie von Nicht-Regierungs-Organisationen aus dem Umwelt- und Verbraucherbereich kontinuierlich begleitet. Diese sogenannte Szenariogruppe wurde in den Prozess der Modellentwicklung eingebunden und diskutierte gemeinsam mögliche Maßnahmen zur Treibhausgasminderung im Verkehr. Zentrale Aufgabe der Szenariogruppe war die gemeinsame Konzeption und Ausgestaltung des Klimaschutzszenarios, welches einen anspruchsvollen Entwicklungspfad für den Klimaschutz im Verkehr aufzeigt.

Der Renewbility-Modellverbund

Die Verknüpfung verschiedener Modelle und Datenbanken bildete den Renewbility-Modellverbund. Dieser setzte sich aus den Hauptmodulen Technologiedatenbasis, Fahrzeugbestandsmodul, Verkehrsnachfragemodelle, Stoffstromanalysemodul sowie dem neu integrierten ökonomischen Modell ASTRA-D zusammen.

Aufbauend auf vorliegenden Verkehrsprognosen ermöglichte der Modellverbund die integrierte Betrachtung von Szenarien, in Form von Maßnahmenbündeln, unter

Berücksichtigung möglicher Wechselwirkungen. Dabei konnten Wirkungen auf die Entwicklung des Fahrzeugbestands als auch Veränderungen der Verkehrsnachfrage dargestellt sowie die Effekte auf den Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen des Verkehrs quantifiziert werden. Durch die Integration des ökonomischen Modells ASTRA-D konnten nun außerdem Aussagen zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr getroffen und die Rückwirkungen einer veränderten Wirtschaftsentwicklung auf die Verkehrsnachfrage abgebildet werden.

Szenarioergebnisse: Entwicklung des Fahrzeugmarkts und der Fahrleistung der Verkehrsträger

Die Szenarioanalysen zeigen, dass sich im Fahrzeugmarkt bis zum Jahr 2030 deutlich effizientere Fahrzeuge durchsetzen können. Die ambitionierte Maßnahmenausgestaltung im Klimaschutzszenario resultierte darüber hinaus in einem verstärkten Einsatz von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit (teil-)elektrischem Antrieb.

Die Verkehrsnachfrage als wichtige Einflussgröße auf die zukünftige Entwicklung von Energiebedarf und Umweltwirkungen des Verkehrs steigt sowohl im Basis- als auch im Klimaschutzszenario zukünftig weiter an. Die Güterverkehrsleistung steigt bis 2030 in beiden Szenarien um etwa 80 % an. Durch die Maßnahmen des Klimaschutzszenarios konnte jedoch sowohl im Personen- wie auch im Güterverkehr eine signifikante Verlagerung von der Straße auf Binnenschiff und Bahn (Güterverkehr) bzw. auf nicht-motorisierte Verkehrsmittel und den Öffentlichen Verkehr (Personenverkehr) erzielt werden. Im Personenverkehr konnte ferner die Verkehrsleistung deutlich gedämpft werden.

Eine Verkehrsverlagerung ist im Ergebnis über die Beeinflussung der Kosten möglich, diese sollten jedoch durch die Bereitstellung attraktiver Alternativen unterstützt werden. Im Güterverkehr wird dies durch die Förderung des kombinierten Verkehrs und von Gleisanschlüssen, den Einsatz von 25-Meter-Lkw mit 40 t zulässigem Gesamtgewicht und die Transportlogistik optimierende Maßnahmen gewährleistet, im Personenverkehr durch ein besseres Angebot an Öffentlichem Verkehr und die Förderung von nicht-motorisiertem Verkehr. Entsprechend der in den Szenarien modellierten Aufteilung der Verkehrsleistung auf die Verkehrsträger wurde deren Fahrleistung modelliert.

Szenarioergebnisse: Entwicklung von Endenergiebedarf und Treibhausgasemissionen

Im Basisszenario sinken der verkehrsbedingte Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 trotz zunehmender Effizienz der Transporte angesichts einer deutlich ansteigenden Verkehrsleistung bis zum Jahr 2030 lediglich um 4,5 % bzw. um 12 %.

Die Ergebnisse des Klimaschutzszenarios in Renewbility II zeigen hingegen, dass bei einer deutlich ambitionierteren Maßnahmenausgestaltung der Verkehrssektor den Endenergiebedarf um 31 % und die Treibhausgasemissionen (inklusive der Emissionen der Kraftstoffherstellung und der Fahrzeugproduktion) bis zum Jahr 2030 um 37 % gegenüber 2005 mindern kann. Die Treibhausgasminderung wird unter anderem durch den Einsatz effizienterer Fahrzeuge, die Optimierung von Transportketten, den zunehmenden Einsatz von nachhaltig erzeugten Biokraftstoffen und eine deutliche Verlagerung auf energieeffizientere Verkehrsmittel erreicht. Im Personenverkehr findet eine Verlagerung von Verkehren vom Pkw auf nicht-motorisierte

Verkehrsmittel und den Öffentlichen Verkehr statt. Im Güterverkehr kann eine deutliche Verlagerung von der Straße auf Binnenschiff und die Bahn erzielt werden.

Im Klimaschutzszenario zeigen der Personen- und der Güterverkehr eine sehr unterschiedliche Dynamik: Während im Personenverkehr die Treibhausgasemissionen bis 2030 nahezu halbiert werden können, erreicht der Güterverkehr im gleichen Zeitraum lediglich eine Minderung um 17 %, obwohl sich die spezifischen Emissionen pro Tonnenkilometer um mehr als die Hälfte reduzieren. Die Hauptursache für diese Diskrepanz ist die gegensätzliche Entwicklung der Verkehrsleistung: Während sie im Personenverkehr bis 2030 wieder nahezu auf das Niveau von 2005 sinkt, steigt die Verkehrsleistung im Güterverkehr auch im Klimaschutzszenario bis 2030 noch weiter drastisch an (+80 %).

Der zunehmende Einsatz von nachhaltig erzeugten Biokraftstoffen sowie die wachsende Bedeutung von Elektrofahrzeugen und der Einsatz von Strom aus zusätzlichen Erneuerbare Energien-Anlagen führen in Kombination mit einer deutlichen Effizienzsteigerung bei konventionellen Fahrzeugantrieben zu einem deutlich höheren Anteil an alternativen Kraftstoffen im Verkehr. Bis zum Jahr 2030 steigt der Anteil von Strom und Biokraftstoffen am Endenergiebedarf von weniger als 4 % im Jahr 2005 auf insgesamt über 21 %. Allein durch die Biokraftstoffbeimischung und den zunehmenden Einsatz von Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr werden die Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario um 24 Mio. Tonnen bis 2030 reduziert. Allerdings würde auch die Beschränkung auf alle anderen Maßnahmen des Szenarios zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 60 Mio. Tonnen gegenüber 2005 führen.

Szenarioergebnisse: ökonomischen Effekte

Die ökonomischen Analysen zeigen darüber hinaus, dass ambitionierter Klimaschutz im Verkehr und positive ökonomische Effekte keinen Widerspruch darstellen. Auf Konsumentenebene führen die Effizienzsteigerungen bei Pkw und die verstärkte Nutzung des öffentlichen Verkehrs anstelle des eigenen Pkw im Klimaschutzszenario zwar zu insgesamt leicht erhöhten Mobilitätsausgaben, allerdings nur unter Berücksichtigung des zusätzlichen Steueraufkommens. Die Privatwirtschaft und insbesondere der Automobilsektor können durch Leitmarkteffekte von ambitionierten Klimaschutzzielen profitieren und somit zu einer Steigerung des Bruttoinlandsprodukts beitragen. Die Staatseinnahmen profitieren insbesondere von höheren Energiesteuern und der Ausweitung der Lkw-Maut. Allerdings sind die Beschäftigungseffekte negativer: der Wechsel hin zu Sektoren mit höherer Arbeitsproduktivität führt trotz erhöhter Wertschöpfung zu einer leichten Abnahme der Beschäftigung.

Fazit

Insgesamt zeigt das im Rahmen von Renewbility II entwickelte Klimaschutzszenario, dass auch der Verkehrssektor bis 2030 eine deutliche Verringerung der Treibhausgasemissionen erzielen und somit maßgeblich zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung beitragen kann. Eine solche Entwicklung setzt allerdings eine ambitionierte Maßnahmenausgestaltung voraus, die sich nicht auf technische Effizienzsteigerungen beschränkt, sondern auch die Verkehrsverlagerung im Güter- und Personenverkehr fördert. Dies bedeutet aber auch, dass alle Verkehrsträger gleichermaßen und frühzeitig in die Infrastrukturplanung einbezogen sowie alternative Mobilitäts- und Transportkonzepte entwickelt und gefördert werden müssen.

Die Ergebnisse des Basisszenarios zeigen, dass bestehende Maßnahmen im Verkehr unter Berücksichtigung des unterstellten Anstiegs der Verkehrsnachfrage bis zum Jahr 2030 nicht ausreichen, um bereits formulierte energie- und umweltpolitische Ziele für den Verkehr zu erreichen bzw. einen Entwicklungspfad in die Richtung bestehender Langfristziele einzuschlagen.

Sollen die CO₂-Emissionen des Verkehrs erheblich reduziert werden, sollte ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt werden, der die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Maßnahmen und Rahmenbedingungen berücksichtigt, sowie mögliche Rebound-Effekte vermeidet. Das Projekt Renewbility II versteht sich in diesem Kontext als fachlicher Beitrag zur weiteren Diskussion über mögliche Entwicklungspfade hin zu einem klimaschonenderen Verkehr in Deutschland.

Ausblick und weiterführende Forschungsfragen

Im Rahmen des Projekts Renewbility II konnten zahlreiche Maßnahmen hinsichtlich ihres möglichen Effekts und ihrer gegenseitigen Wechselwirkungen untersucht und mögliche Entwicklungen des Verkehrssektors in Form von Szenariobetrachtungen aufgezeigt werden. Die konzipierten Szenarien stellen ausgewählte Entwicklungspfade dar, die mit keiner Aussage zu einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit verbunden sind. Sie sind vielmehr als Wenn-Dann-Aussagen zu verstehen, die die Bedeutung verschiedener Einflussgrößen aufzeigen.

Die Entwicklung der Verkehrsnachfrage stellt eine zentrale Einflussgröße auf die Treibhausgasemissionsentwicklung des Verkehrs dar, die gleichzeitig mit Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung im Basis- als auch im Klimaschutzszenario verbunden ist. Die Datengrundlage für Renewbility II bildet – wenn auch in modifizierter Form – die Verkehrsprognose 2025 aus dem Jahr 2007. Somit wäre es nach Vorliegen einer angepassten Verkehrsprognose sinnvoll, den Modellverbund erneut zu nutzen, um Aussagen zur Umweltwirkung des Verkehrs zu aktualisieren.

Insbesondere im Güterverkehr sind aktuellere Verkehrsprognosen notwendig, um mögliche Einflüsse auf die Entwicklung der Wirtschaftsstruktur – z.B. die Berücksichtigung der europäischen Wirtschafts- und Finanzkrise – sowie deren Rückwirkung auf die Güterverkehrsnachfrage abzubilden. In Verbindung mit der ökonomischen Modellierung könnten gerade vor dem Hintergrund der starken Abhängigkeit des Güterverkehrs von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung Alternativpfade wie eine stärkere Regionalisierung der Produktion oder eine größere Verflechtung der Versorgungsketten näher beleuchtet werden; hier sind sowohl treibende als auch dämpfende Entwicklungen auf die Verkehrsleistung denkbar.

Ferner haben die Analysen die besondere Herausforderung der Verkehrsverlagerung im Güterverkehr aufgezeigt, die weitere Untersuchungen bezüglich der bestehenden Potenziale und möglicher Hemmnisse nahelegen.

Sowohl im Güter- wie auch im Personenverkehr kann die verfügbare Infrastruktur die Verkehrsleistung als auch den Modal Split beeinflussen. Im Projekt Renewbility II konnte dieser Aspekt nicht im Detail untersucht werden. Insbesondere in Hinblick auf die langfristige Entwicklung des Verkehrssektors und bezüglich einer Verlagerung von Verkehren sollten die infrastrukturellen Aspekte in zukünftigen Vorhaben stärker beleuchtet werden. Ebenfalls

außerhalb der Projektfragestellung blieb die Diskussion der zukünftigen Infrastrukturfinanzierung.

Im Personenverkehr wurden in den Szenarien Veränderungen des Verkehrsverhaltens – auch unter Berücksichtigung neuer Mobilitätsangebote – berücksichtigt. Die Modellierung der möglichen Verhaltensänderung beruht auf den verfügbaren empirischen Daten der vergangenen Jahre, so dass entsprechende Veränderungen in den Szenarien verhältnismäßig moderat ausfallen. Ob beispielsweise neue Mobilitätsangebote oder auch andere Veränderungen der Rahmenbedingungen in Zukunft zu deutlich stärkeren Veränderungen des individuellen Verkehrsverhaltens führen, konnte angesichts fehlender empirischer Anhaltspunkte in den Szenarien nicht abgebildet werden. Entsprechende Entwicklungen sind jedoch damit nicht ausgeschlossen.

Ebenfalls nicht explizit berücksichtigt wurden in den Renewbility-Szenarien größere Veränderungen in der Raumstruktur, die langfristig beispielsweise im Zuge einer Verdichtung von Siedlungsstrukturen zu einer verstärkten Vermeidung und Verlagerung von Verkehren führen könnten. Auch dies stellt einen Bereich dar, der zukünftig stärker beleuchtet werden sollte.

Mögliche Wechselwirkungen von technischen Effizienzsteigerungen und Energiekosten konnten am Beispiel der Pkw-Fahrleistung auf Mikroebene aufgezeigt werden. Der sogenannte „Rebound-Effekt“ bei sinkenden Kilometerkosten, der zu einer Attraktivitätssteigerung des motorisierten Individualverkehrs und einen Anstieg der Pkw-Fahrleistung im Basisszenario führt, könnte den Ausgangspunkt für eine eingehendere Analyse entsprechender Effekte darstellen.

In den Renewbility II-Szenarien wird die Minderung der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen neben der Verkehrsverlagerung zu einem großen Teil durch den Einsatz von effizienteren Antrieben sowie den zunehmenden Einsatz nachhaltig erzeugter Biokraftstoffe sichergestellt. Ob Biokraftstoffe in den kommenden Dekaden tatsächlich in entsprechendem Umfang und mit der dargestellten günstigen Treibhausgasbilanz für den Verkehrssektor zur Verfügung stehen, ist zum aktuellen Zeitpunkt umstritten. Für Pkw wurde im Klimaschutzszenario ausschließlich die Alternativtechnologie elektrischer Antrieb betrachtet. Perspektivisch können auch Gasfahrzeuge in Kombination mit biogenem oder stromerzeugtem Gas, stromgenerierte Flüssigkraftstoffe oder Brennstoffzellenfahrzeuge Alternativen oder Ergänzungen darstellen. Angesichts des frühen Entwicklungsstadiums können jedoch diesbezüglich keine verlässlichen Prognosen erstellt werden. In den Renewbility-Szenarien wurden entsprechende Alternativentwicklungen nicht betrachtet. Im Klimaschutzszenario werden im Straßenverkehr bis zum Jahr 2030 die Potenziale zur Effizienzsteigerung konventioneller verbrennungsmotorischer Antriebssysteme weitestgehend ausgereizt. Dies bedeutet, dass, sofern keine alternativen Antriebssysteme zur Verfügung stehen, nach 2030 höchstens geringfügige weitere Effizienzsteigerungen beim Fahrzeugantrieb erzielt werden können. Dies gilt es bei der Diskussion von Langfristszenarien über das Jahr 2030 hinaus für den Verkehr zu beachten.

Die ambitionierten Annahmen zur Entwicklung des Biokraftstoffeinsatzes im Verkehrssektor haben einen erheblichen Einfluss auf die Treibhausgasminderung in den Szenarien. Sollten entsprechende Mengen- und Treibhausgasminderungspotenziale bis zum Jahr 2030 nicht zur Verfügung stehen, bedeutet dies, dass entweder die aufgezeigten Minderungen nicht erzielt

werden können oder andere alternative Kraftstoffe bis dahin die Marktreife erreichen sollten. Die Renewbility II-Szenarien zeigen daher bezüglich der Entwicklung CO₂-armer Kraftstoffe für den Verkehr die bestehende Herausforderung auf.

In den Renewbility-Szenarien wurde der Flugverkehr nicht im Detail betrachtet und die Seeschifffahrt lag außerhalb der Bilanzgrenzen des Projekts. Sowohl der Luft- wie auch der Seeverkehr stellen große Wachstumsmärkte dar, die die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektor zunehmend beeinflussen und daher in zukünftige Betrachtungen stärker mit einbezogen werden sollten.

Grundsätzlich sind die Renewbility-Szenarien – wie auch andere Szenarien für den Verkehr – durch einen Schwerpunkt auf technischen Maßnahmen geprägt. Dieser Umstand trägt der vermeintlich besseren Vorhersehbarkeit technologischer Entwicklungen und der umfangreicheren Datenverfügbarkeit Rechnung. Zukünftige Veränderungen im individuellen Verkehrsverhalten und von Wirtschaftsstrukturen, sowie deren Auswirkung auf die Entwicklung der Verkehrsleistung stellen zwar eine bedeutende Einflussgröße dar, lassen sich aus heutiger Sicht aber schwer quantifizieren. Dennoch sollten Alternativentwicklungen mit langfristigen Veränderungen von Strukturen und Verhaltensmustern in zukünftigen Szenarien verstärkt Berücksichtigung finden, da die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele in der Größenordnung einer Treibhausgasminderung um 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 aus heutiger Sicht nur unter der Annahme einer deutlichen Verlagerung und Vermeidung von Verkehren realisierbar erscheint.

5 Literatur

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) (2011): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland – Stand 2010; Berlin/Köln <http://www.ag-energiebilanzen.de>
- Ahrens, G.-A. (2010): Interdependenzen zwischen Fahrrad- und ÖPNV-Nutzung. Analysen, Strategien und Maßnahmen einer integrierten Förderung in Städten. TU Dresden. Dresden.
- BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) (2010): Tempolimit auf Autobahnen 2008. Schlussbericht zum Arbeitsprogramm-Projekt F1100.6608018. Juli 2010
- Beise, M., Cleff, T., Heneric, O., Rammer, C. (2002): Lead Market Deutschland. Zur Position Deutschlands als führender Absatzmarkt für Innovationen. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW). Mannheim.
- Bickelbacher, P. (2002): Bike + Ride aus Nutzersicht. umweltfreundlich, schnell und praktisch. München.
- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) (2011): Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2010; Bonn http://www.ble.de/cln_090/nn_1053330/SharedDocs/Downloads/02__Kontrolle__Zulassung/05__NachhaltigeBiomasseerzeugung/Evaluationsbericht__2010,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Evaluationsbericht_2010.pdf
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen; Berlin www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/.../nationaler_aktionsplan_ee.pdf
- BMVBW (2002): Nationaler Radverkehrsplan 2002-2012. Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Deutschland. Bericht der Bundesregierung. 2. Auflage. Berlin.
- BMVBS (2009): Richtlinie (Verwaltungsvorschrift) zur Förderung des Neu- und Ausbaus sowie der Reaktivierung von privaten Gleisanschlüssen (Gleisanschlussförderrichtlinie) vom 21.09.2009. A 32/3141.1/1. <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/35010/publicationFile/1073/gleisanschlussfoerderrichtlinie.pdf>. Gesicherter Link vom 02.10.2012
- BMVBS (2012): Richtlinie (Verwaltungsvorschrift) zur Förderung von Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs nichtbundeseigener Unternehmen. <http://www.foerderdatenbank.de/FoerderDB/Navigation/Foerderrecherche/suche.html?get=4aa561e46fff16fb87d819d09c769842;views;document&doc=10579&typ=RL>, gesicherter Link vom 02.10.2012
- Bundesregierung (2008): Masterplan Güterverkehr und Logistik. Bonn, Berlin.
- Bundesregierung (2011): Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011. (Stand: Oktober 2011). Berlin
- City of Copenhagen (2008): Bicycle Account 2008. Herausgegeben von City of Copenhagen. Copenhagen.
- DBFZ (Deutsches BiomasseForschungsZentrum), TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft), INL (Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung e.V.), Öko-Institut e.V. (2011): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung; Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ Band 2; Leipzig <http://www.energetische->

biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Ver%C3%B6ffentlichungen/02_Basisinformationen_Reststoffe_web.pdf

Destatis (2009): 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden. Siehe auch: <https://www.destatis.de/bevoelkerungspyramide/>.

Destatis (2010): Input-Output-Rechnung im Überblick. Wiesbaden.

Difu - Deutsches Institut für Urbanistik (2008): Gemeindeinvestitionsbedarf 2006-2020. Berlin.

DLR, IWES, IfNE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global; Nitsch J u.a.; i.A. des BMU (FKZ 03MAP146).Stuttgart.

DVZ (Deutsche Verkehrszeitung) (2006): Hans-Jügen Wildhage. Schnellfahren leert die Fuhrparkkasse, DVZ 2006.

EBA (2010): Der Weg zur Stärkung des Kombinierten Verkehrs und zur Gleisanschlussförderung direkt, schnell, unkompliziert. Folien zum Vortrag von Martin Sonntag – Eisenbahn-Bundesamt – RefL 44 auf VDV – Veranstaltung "Chancen für den umweltfreundlichen Gütertransport - neue Förderprogramme für die Schiene", Berlin, 18.01.2010

EC (European Commission) (2010): EU Energy trends to 2030. Update 2009. Luxembourg.

EC (European Commission) (2011): Weissbuch. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum: Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. Brüssel, März 2011.

EcoTransIT world (2010): Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports, Methodology and Data. IFEU Heidelberg, Öko-Institut, IVE / RMCON, Commissioned by DB Schenker Germany, UIC (International Union of Railways) Berlin – Hannover - Heidelberg, July 15th 2010

EEA (European Environment Agency) (2012): Review of the EU bioenergy potential from a resource efficiency perspective - An update of EEA report No 7/2006; Elbersen B et al.; Copenhagen (forthcoming)

EIA (Energy Information Administration) (2010): International Energy Outlook 2010. Washington D.C., July 2010.

EU (European Council and European Parliament) (2009a): Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC; Official Journal of the EU, June 5, 2009 L 140 pages 16-62

EU (European Council and European Parliament) (2009b): Entscheidung Nr. 406/2009/EG über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020. Amtsblatt der Europäischen Union, 5. Juni 2009

EUROSTAT (2012): NUTS – Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts_nomenclature/introduction letzter Zugriff am 27.7.2012

- Firnkorn, Jörg; Müller, Martin (2011): What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm. In: Ecological Economics, Jg. 70, H. 8, S. 1519–1528. Online verfügbar unter doi:10.1016/j.ecolecon.2011.03.014.
- Fritsche, Uwe (2012): Proceedings of the European Parliament ILUC Workshop, Jan 25, 2012 in Brussels <http://www.europarl.europa.eu/committees/en/studiesdownload.html?languageDocument=EN&file=67431>
- Fritsche, Uwe; Wiegmann, Kirsten (2011): Indirect Land Use Change and Biofuels; study prepared for the European Parliament's Committee on Environment, Public Health and Food Safety; IP/A/ENVI/ST/2010-15; Brussels <http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies/download.do?language=en&file=35128>
- Hartwig, J., Schade, W., Sievers, L. (2012): Kurzübersicht des Modells ASTRA-D. Working Papers Sustainability and Innovation S 10/2012. Fraunhofer ISI, Karlsruhe
- HBEFA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1. im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin und Wien und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft Bern. Bern/Berlin/Wien 2010.
- IC (Imperial College London) et al. (2012): Biomass Futures – Analysing Europe's Future Bioenergy Needs; collaborative EU-IEE project carried out by Alterra, CRES, ECN, IC, ICCS, IEEP, IIASA, and Oeko-Institut; London etc. <http://www.biomassfutures.eu>
- IEA (International Energy Agency) (2010): World Energy Outlook 2010. Paris.
- IEA (International Energy Agency) (2011): World Energy Outlook 2011; Paris
- IFEU (2011): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMOMOD, Version 5.2) für die Emissionsberichterstattung 2012. Endbericht, Heidelberg.
- IFEU (Institute for Energy and Environmental Research), CI (Copernicus Institute), Oeko-Institut e.V. (2012): Global Assessments and Guidelines for Sustainable Liquid Biofuels Production in Developing Countries; GEF Targeted Research Project executed by UNEP/FAO/UNIDO; Heidelberg/Utrecht/Darmstadt <http://www.unep.org/bioenergy/Portals/48107/doc/activities/GEF%20Liquid%20Biofuel%20Project.pdf>
- IINAS (Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH), Öko-Institut e.V. (2012): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.8; Internet-release auf www.gemis.de
- Infas, DLR-IVF (2010): Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends, Berlin.
- IPT, BVU (2007): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. München, Freiburg. Gutachten im Auftrag des BMVBS.
- ITDP (2011): Europe's Parking U-Turn: From Accommodation to Regulation. Unter Mitarbeit von Michael Kodransky und Gabrielle Hermann. New York.
- Jochem, E., Jäger, C., Battaglini, A., Köwener, D., Schade, W. et al. (2008): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Endbericht des KlimInvest 2020 Projektes im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Karlsruhe, Berlin.

- JRC-IE (Joint Research Centre – Institute for Energy) (2011): EU renewable energy targets in 2020: Analysis of scenarios for transport fuels; JEC Biofuels Programme - Final report; Luxembourg http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/jec/JECBiofuels%20Report_2011_PRINT.pdf
- Keuchel, S., Ernst, H., Richter, C., Mühlhause, M. (2006): Auswirkungen auf die Straßeninfrastruktur infolge einer Erhöhung der Abmessungen und zulässigen Gesamtgewichte von Lkw. Schlussbericht: FE 03.400/2005/ARB, Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Köhler, J., Schade, W., Williams, I., Maffii, S., Martino, A., Tavassznyi, LA. (2004): Transport Infrastructure and Policy: a macroeconomic analysis for the EU. Cambridge
- Kraftfahrt-Bundesamt (a): Statistische Mitteilungen. Reihe 1: Fahrzeugneuzulassungen. Neuzulassungen – Besitzumschreibungen – Löschungen – Bestand, div. Jg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (b): Statistische Mitteilungen. Reihe 2: Fahrzeugbestand. Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar des Jahres, div. Jg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (c): Fahrzeugzulassungen (FZ) – Neuzulassungen, Besitzumschreibungen und Außerbetriebsetzungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern des Jahres, Sammelband, FZ 7, Jahrgänge 2007-2011.
- Krail, M., Schade, W., Fiorello, D., Fermi, F., Martino, A., Christidis, P., Schade, B., Purwanto, J., Helfrich, N., Scholz, A., Kraft, M. (2007): Outlook for Global Transport and Energy Demand. Deliverable 3 des Forschungsprojektes TRIAS (Sustainability Impact Assessment of Strategies Integrating Transport, Technology and Energy Scenarios) im Auftrag der Europäischen Kommission, Karlsruhe, Deutschland.
- Leduc, G., Köhler, J., Wiesenthal, T., Tercero, L., Schade, W., Schade, B. (2010): Transport R&D Capacities in the EU. Deliverable 1 of GHG-TransPoRD (Reducing greenhouse-gas emissions of transport beyond 2020: linking R&D, transport policies and reduction targets). Project co-funded by European Commission 7th RTD Programme. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe, Germany
- Liedtke, G. (2005): An Actor-based Approach to Commodity Transport Modelling. Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Fridericiana Karlsruhe (Technische Hochschule) Karlsruhe, im Dezember 2005.
- Loose, W., Mohr, M., Nobis, C., Holm, B., Bake, D. (2004): Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing. (Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, V 114).
- Martens (2007): Promoting bike-and-ride: The Dutch experience. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, Jg. 41, H. 4, S. 326–338.
- Nachtigall, K. (2006): Netzbasierte Exkurse im Projekt Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Arbeitspaper, TU Dresden.
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. BMVBS, Bonn.
- ÖI, FZJ, DIW, ISI (2008) PSz-IV: Politiksznarien für den Klimaschutz IV - Szenarien bis 2030 für den Projektionsbericht 2007. Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Berlin, Jülich, Karlsruhe.
- Öko-Institut, DLR-IVF (2009a): Renewability – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. FZK 0327547 im Auftrag d. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Endbericht Teil 1: Methodik und Datenbasis.

- Öko-Institut, DLR-IVF (2009b): Renewability – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. FZK 0327547 im Auftrag d. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Endbericht Teil 2: Szenario-Prozess und Szenarioergebnisse.
- Öko-Institut, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) (2011): Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft (OPTUM). Schlussbericht im Rahmen der Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin
- Öko-Institut (2011): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.7; Internet-release auf www.gemis.de
- Öko-Institut, IINAS (Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH) (2012): Energie- und Klimabilanz von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten im Vergleich zu anderen Energiequellen; Endbericht zum Gutachten für Team Ewen im Rahmen des InfoDialog Fracking; Fritsche U, Herling J; Darmstadt http://dialog-erdgasundfrac.de/sites/dialog-erdgasundfrac.de/files/OEKO_IINAS-Fracking-Energie-Klimabilanz.pdf
- Öko-Institut, DBFZ (Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH), DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt), GZB (Geothermiezentrum Bochum), IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung), IWES (Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik), ESU (ESU services), SmartScreenScans (2012): Aktualisierung von Ökobilanzdaten für Erneuerbare Energien im Bereich Treibhausgase und Luftschadstoffe; BMU-Vorhaben Förderkennzeichen 0325188; Darmstadt usw. (in Vorb.)
- PLANCO (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. PLANCO Consulting GmbH in Zusammenarbeit mit Bundesanstalt für Gewässerkunde, Essen, November 2007
- PROGNOS, (Prognos AG), EWI (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln), GWS (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH) (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin.
- PROGNOS (Prognos AG), EWI (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln), GWS (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH) (2011): Energieszenarien 2011; i.A. des BMWi; Basel, Köln, Osnabrück http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/11_08_12_Energieszenarien_2011.pdf
- Pucher et al. (2010): Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. In: Preventive Medicine, Jg. 50, H. Supplement 1, S. S106-S125.
- Pucher und Buehler (2008): Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. Transport Reviews. In: Transport Reviews, Jg. 28, H. 4, S. 495–528.
- Ragwitz M, Schade W, Breitschopf B, Walz R, Helfrich N, Rathmann M, Resch G, Panzer C, Faber T, Haas R, Nathani C, Holzhey M, Konstantinaviciute I, Zagame P, Fougereyrollas A, le Hir B (2009): EmployRES - The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union. Final report of Employ-RES on behalf of the European Commission DG TREN, Karlsruhe.

- Santos et al. (2010): Part II: Policy instruments for sustainable road transport. Road Transport Externalities, Economic Policies And Other Instruments For Sustainable Road Transport. In: Research in Transportation Economics, Jg. 28, H. 1, S. 46–91.
- Schade W. (2005): "Strategic Sustainability Analysis: Concept and application for the assessment of European Transport Policy". Nomos Verlag, Baden-Baden.
- Schade W (2010): Impact assessment of CO₂ emission limits of cars in Germany and the EU. Artikel präsentiert auf der 12th World Conference of Transport Research (WCTR) in Lissabon.
- Schade W, Lüllmann A, Beckmann R, Köhler J (2009): "IEKP-Makro - Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr". UBA, Climate Change Series 8/2009, Karlsruhe
- Shaheen, Susan A.; Cohen, Adam P. (2008): Worldwide Carsharing Growth: An International Comparison.
- Schmied, Martin; Hochfeld, Christian (2004): Eine ökologische Bewertung der neuen intermodalen Verkehrsangebote DB-Carsharing und Call-a-Bike. Gutachten im Auftrag des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung (WZB). Herausgegeben von Öko-Institut und WZB. Berlin.
- Statistisches Bundesamt (2003): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen Ausgabe. Wiesbaden
- TNO Science and Industry (2006). Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂-emissions from passenger cars. Study on behalf of the European Commission. Delft.
- TREMOD (2010): TREMOD (Transport Emission Modell). Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1960 – 2030. TREMOD 5.1 vom 26.03.2010. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Heidelberg 2010
- UBA (1999): Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Texte Nr. 40/1999, Berlin.
- UBA (2006): Modellvorhaben "Fußgänger- und fahrradfreundliche Stadt". Chancen des Fuß- und Radverkehrs als Beitrag zur Umweltentlastung. Unter Mitarbeit von Juliane Krause und Edzard Hildebrandt. Dessau.
- UBA (2010a): CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Dessau.
- UBA (2010b): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2008. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2010. Dessau.
- Wiesenthal T., Leduc G., Köhler J., Schade W., Schade B. (2010): Research of the EU automotive industry into low-carbon vehicles and the role of public intervention. JRC 58727, Seville, Spain.
- Woodrooffe, J. (2012): Performance-based standards and indicators for sustainable commercial vehicle transport. 18th scientific advisory group report. ACEA, Brüssel