
RENEWBILITY

Stoffstromanalyse
nachhaltige Mobilität
im Kontext
erneuerbarer Energien
bis 2030

IMPRESSUM

BERLIN, JUNI 2009

Herausgeber:

ÖKO-INSTITUT E.V.

BÜRO BERLIN

Novalisstraße 10

D-10115 Berlin

Tel. +49 (0) 30 – 28 04 86-80

Fax +49 (0) 30 – 28 04 86-88

BÜRO DARMSTADT

Rheinstrasse 95

D-64295 Darmstadt

Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0

Fax +49 (0) 6151 – 81 91-33

GESCHÄFTSSTELLE FREIBURG

Postfach 50 02 40

79028 Freiburg

Tel. +49 (0) 761 – 45 295-0

Fax +49 (0) 7 61 – 45 295-88

www.oeko.de

Ansprechpartnerin:

Dr. Wiebke Zimmer, Öko-Institut e.V.

Ansprechpartner aller Projektbeteiligten
finden sich im Anhang

Redaktionelle Bearbeitung: Dipl.-Ing. Christa Friedl

Grafik-Design: Charlotte Driessen

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapier

Gefördert vom Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

www.renewability.de

INHALTSVERZEICHNIS

ERGEBNISBROSCHÜRE ZUM FORSCHUNGSPROJEKT

| | |
|--|----|
| Hintergrund und Ausgangslage | 3 |
| Renewbility: Das Forschungsprojekt | 4 |
| Szenarien für eine nachhaltige Mobilität | 5 |
| Ergebnisse | 10 |
| Die Modell- und Szenarienentwicklung | 20 |
| Zusammenfassung | 26 |
| Die Beteiligten | 28 |

HINTERGRUND ...

Mobilität ist ein Grundbedürfnis jedes Menschen und gleichzeitig Voraussetzung für eine moderne, arbeitsteilige Gesellschaft in einer globalisierten Welt. Allerdings hat eine umfassende Mobilität auch ihre Schattenseiten: Der Anteil des gesamten Verkehrs an den nationalen CO₂-Emissionen beläuft sich derzeit auf etwa 20%, wesentliche Treiber dafür sind zunehmende Mobilitätsansprüche des Einzelnen, vor allem aber auch stark wachsende Gütertransporte. Zudem fühlen sich Menschen direkt oder indirekt von negativen Auswirkungen des Verkehrs wie Lärm und Emissionen betroffen.

Die Verkehrsentwicklung ist daher eine große Herausforderung für den Klimaschutz: wachsende Pkw-Zulassungszahlen, steigender Individualverkehr, zunehmende Entfernungen im Güter- und Personenverkehr und weltumspannende Transportnetze sind Trends, die der notwendigen Reduzierung von Treibhausgasemissionen entgegenstehen. Ziel einer nachhaltigen Verkehrspolitik muss es sein, ein hohes Maß an Mobilität für alle Teile der Gesellschaft bei gleichzeitiger Minderung der negativen Folgen für Klima und Umwelt sicherzustellen.

Wie wird sich die Mobilitätsnachfrage entwickeln? Welche Angebote sind nachhaltig? Und wie wird Verkehr klima- und umweltverträglicher? Dies sind Fragen, denen im Hinblick auf eine nachhaltige Energie- und Verkehrspolitik vor allem unter dem Aspekt des Klimaschutzes große Bedeutung zukommt.

Sollte die Europäische Union ihre Minderungsziele von 30% bis zum Jahr 2020 umsetzen, so hat sich Deutschland zum Ziel gesetzt, die nationalen Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40% zu senken. Bedingung für die Umsetzung der EU-Ziele ist, dass andere Industrieländer sich zu vergleichbaren Minderungen und die wirtschaftlich weiter fortgeschrittenen Entwicklungsländer zu einem ihren Verantwortlichkeiten und jeweiligen Fähigkeiten angemessenen Beitrag verpflichten.

Diese ambitionierten Ziele erfordern große Anstrengungen in allen Sektoren – auch dem Verkehr. Gerade hier aber ist die Minderung der Treibhausgase besonders schwierig, denn das Verkehrsaufkommen wird weiter wachsen.

... UND AUSGANGSLAGE

Wie kann es gelingen, nachhaltige Mobilität für alle sicherzustellen und gleichzeitig die politischen Ziele für eine zukunftsfähige Energiepolitik und wirksamen Klimaschutz zu erreichen? Um diese Frage zu beantworten, fehlten bisher integrative Analyseinstrumente, die den Einfluss politischer Vorgaben sowohl auf das Verkehrsangebot als auch auf die Verkehrsnachfrage abbilden. Solche Instrumente können helfen, die Auswirkungen politischer Rahmenbedingungen auf die Entwicklung im Verkehrsbereich zu beurteilen und besonders effektive Maßnahmen zu identifizieren. Mit anderen Worten: Sie bilden eine wesentliche Grundlage zur Analyse, Bewertung und Legitimation zukünftigen politischen Handelns für eine nachhaltige Entwicklung.

Bestehende Analyseinstrumente im Bereich Verkehr fokussieren insbesondere die Wirkung von Einzelmaßnahmen, ohne die Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen und Sektoren zu berücksichtigen. Moderne Verkehrssysteme aber sind komplex: So werden künftig beispielsweise erneuerbare Energien im Verkehr eine wachsende Rolle spielen, daher müssen die Wechselwirkungen mit dem Energiesektor (Strom und Wärme) in Überlegungen und Analysen mit einbezogen werden. Auch die Auswirkungen des Fahrzeug- und Kraftstoffangebots auf die Verkehrsnachfrage werden in bisherigen Analysen meist nur unzureichend berücksichtigt.

RENEWBILITY: DAS FORSCHUNGSPROJEKT

Der Titel des Verbundvorhabens »Renewbility – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030« ist Programm: Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wurde ein in mehrfacher Hinsicht integratives Analyseinstrumentarium entwickelt, das Maßnahmen und Wirkungen einer zukünftigen, nachhaltigen Verkehrspolitik abbildet und unter anderem die resultierenden Treibhausgasemissionen und Energieverbräuche sowohl im Verkehrssektor wie auch insgesamt quantifiziert.

Wesentliche Neuerungen des integrativen Modellierungsansatzes sind:

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

Betrachtet wurden der innerdeutsche Straßen-, Schienen-, Binnenschiff- und Luftverkehr. Wichtig dabei: Im Gegensatz zur Klimaberichterstattung wurden bei der Emissionsbilanzierung im Rahmen von Renewbility nicht nur die direkten Treibhausgasemissionen der Verkehrs- und Energieträger berücksichtigt, sondern auch Emissionen, die bei der Herstellung der Kraftstoffe im In- und Ausland und bei der Fahrzeugproduktion entstehen.

Das Kernteam des Vorhabens bilden das Öko-Institut (Projektleitung) und das Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-IVF) Berlin. Als weitere wissenschaftliche Partner haben das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU), das Deutsche Biomasse-Forschungszentrum (DBFZ, ehemals Institut für Energetik und Umwelt Leipzig) sowie die Professur für Verkehrsströmungslehre der Technische Universität Dresden (TU-D) im Verbundvorhaben mitgearbeitet.

Die wesentlichen Ziele des Vorhabens waren:

- » die Entwicklung eines integrierten Modells zur Abbildung von Instrumenten und Maßnahmen für eine nachhaltige Mobilität im Bereich des Personen- und Güterverkehrs unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem Energiesektor;
- » die frühzeitige Einbindung wesentlicher gesellschaftlicher Akteure bei der Modellentwicklung und -erprobung;
- » die Entwicklung eines konsistenten Klimaschutzszenarios für den Verkehrssektor bis 2030 unter Beteiligung von Stakeholdern.

SZENARIEN FÜR EINE NACHHALTIGE MOBILITÄT

Ein zentrales Element des Forschungsvorhabens Renewability – sowohl bei der Entwicklung des Analyseinstruments wie auch bei dessen Anwendung – ist die Formulierung und Analyse von Szenarien. Dabei stellt die Szenariotechnik eine wissenschaftlich etablierte und ausdifferenzierte Methode dar, um mögliche Entwicklungspfade zu untersuchen. Bei der Ausgestaltung der Renewability-Szenarien stand vor allem die Einbeziehung gesellschaftlicher Akteure im Vordergrund – so wurde hohe Transparenz und Sensibilität gewährleistet, um die Wirkung definierter Maßnahmen und Annahmen gemeinsam zu beurteilen und um eine größtmögliche Akzeptanz für das Analyseinstrumentarium, die Modellierungen und letztlich die Ergebnisse zu schaffen. Die Einbeziehung unterschiedlichster Akteure schuf zudem die Basis für einen Dialog über die Realisierung technischer und nicht-technischer Maßnahmen für mehr Klimaschutz und für steigende Anteile von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor.

SZENARIOTECHNIK

Für die Beurteilung der Ergebnisse ist wichtig, dass im wissenschaftlich anerkannten Szenarioprozess weder über die Wahrscheinlichkeit noch über die Wünschbarkeit eines gewählten Szenarios eine Aussage gemacht wird. Szenarien sind **keine Prognosen** für die Zukunft und enthalten auch keine Bewertungen der zu Grunde liegenden Annahmen. Es handelt sich dabei vielmehr um mögliche Entwicklungspfade unter bestimmten Randbedingungen innerhalb eines gesetzten Modells.

DAS BASISZENARIO

Im ersten Schritt wurde ein Basisszenario definiert, das diejenigen verkehrspolitischen Maßnahmen berücksichtigt, die bereits geltendes Recht sind bzw. von denen bereits feststeht, dass sie in den kommenden Jahren in geltendes Recht umgesetzt werden müssen. Für die Bereiche Strom und Wärme enthält es die ambitionierten Zielsetzungen des Bundesumweltministeriums zum Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2030 (Leitszenario). Das Basisszenario stellt damit keine klassische Trendprojektion dar, sondern nimmt bereits deutlich spürbare Veränderungen im Mobilitäts- und Energiesektor insgesamt an.

Das Basisszenario dient im Folgenden als Vergleichsbasis, um die Wirkung neuer, zusätzlicher Maßnahmen und Annahmen auf den Verkehrssektor quantifizieren zu können. Um das Basisszenario zu modellieren, wurden verschiedene Annahmen getroffen, die auf existierenden Prognosen und Szenarien basieren – hauptsächlich auf der Verkehrsprognose 2025 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (kurz VP 2025) und dem Leitszenario 2008 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Ausgehend von der Entwicklung in der VP 2025 steigt im Basisszenario die Personenverkehrsleistung von 2005 bis 2030 um rund 16%. Im Güterverkehr werden noch höhere Wachstumsraten erwartet: Hier beträgt der Anstieg bis 2030 sogar 91% bezogen auf 2005¹.

¹ Bedingt durch die aktuelle Wirtschaftskrise zeichnen sich derzeit bereits Rückgänge im Verkehrsaufkommen ab, die von den Annahmen in der VP 2025 abweichen. Da die weitere Entwicklung in einem hohen Maße ungewiss ist, wurden die beobachteten Rückgänge im Basisszenario nicht berücksichtigt, sondern es wurde über den gesamten Betrachtungszeitraum die VP 2025 als Bezugsgrundlage herangezogen. Langfristig denkbare strukturelle Veränderungen, die aus der Finanz- und Wirtschaftskrise resultieren könnten, werden damit in den Szenarien nicht betrachtet.

Auswahl relevanter Annahmen für das Basisszenario

| ASPEKT/FAKTOR | ANNAHME IM BASISSENARIO |
|--|--|
| Demographische Entwicklung | Bevölkerung 2030: 81,0 Millionen, davon 34% 60 Jahre und älter (regionalisierte Bevölkerungsprognose des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung) |
| Wirtschaftsentwicklung (BIP) | Durchschnittliche Wachstumsrate von real 1,7% p.a. bis 2030 (nach Verkehrsprognose 2025 des BMVBS – VP 2025) |
| Motorisierungsgrad | Anteil steigt von 68% (2005) auf 75% der Erwachsenen (2030) (nach VP 2025) |
| Pkw-Bestand | Anstieg von 46,1 Mio. (2005) auf 51,3 Mio. Pkw (2030) |
| Mobilitätsbudget | Konstantes Budget von 14% am (steigenden) Haushaltsnettoeinkommen |
| Mobilitätskosten | Anstieg um real 1% p.a. für alle Verkehrsarten (nach VP 2025) |
| Fahrleistung motorisierter Individualverkehr | Anstieg um 16% von 2005 bis 2030 (nach VP 2025) |
| Modal Split im Personenverkehr | Zuwachs des Anteils des motorisierten Individualverkehrs um 2,3%, Rückgang beim Öffentlichen Verkehr um 0,6% und um 1,7% beim nicht motorisierten Verkehr im Zeitraum 2005 bis 2030 (bezogen auf Wege, nach VP 2025) |
| Güterverkehrsleistung | Anstieg um 91% von 2005 bis 2030 (nach VP 2025) |
| Kosten im Güterverkehr | Kostenreduktion durch Produktivitätsfortschritte von 0,4% p.a. beim Straßen- und Schienenverkehr sowie 1,7% p.a. beim Binnenschiff (nach VP 2025) |
| Modal Split im Güterverkehr | Zuwachs des Anteils des Straßenverkehrs um 4,5%, Rückgang Schienengüterverkehr um 1%, Rückgang Binnenschiffahrt um 3,5%, jeweils bis 2030 |
| Ausbau Straßennetz | Realisierung aller Projekte des vordringlichen Bedarfs des Bundesverkehrswegeplans 2003 (nach VP 2025) |
| Ausbau ÖPNV-Netz | Derzeitige Bedienstrukturen bleiben erhalten, Kapazitäten und Bedienstandards werden dem Bedarf angepasst (nach VP 2025) |
| Ausbau Schienennetz | Ausbau der Schienenwege und Transportzeitverkürzung entsprechen den Projekten der VP 2025 |

| | |
|--------------------|---|
| Effizienz Pkw | Berücksichtigung des Pkw-Flottengrenzwerts für 2012 bezogen auf das deutsche Niveau und unter Berücksichtigung weiterer Innovationen, dann weitere Effizienzsteigerung um 1% p.a. bis 2030 |
| Effizienz Lkw | Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge bis 2030 um 16% (0,75% p.a.) |
| Effizienz Bus | Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge bis 2030 um 16% (0,75% p.a.) |
| Effizienz Bahn | Minderung des Kraftstoffverbrauchs neu zugelassener Fahrzeuge um 2% bis 2010, um 10% bis 2020 und um 20% bis 2030 |
| Biokraftstoffe | Quoten von 6,2% (2010), 10% (2020), 15% (2030) im Straßenverkehr; Berücksichtigung der EU-Nachhaltigkeitsstandards beim Anbau der Biomasse |
| Preise Kraftstoffe | Anstieg der Kraftstoffpreise auf real 1,47 € ₂₀₀₅ / Liter (Diesel) bzw. 1,65 € ₂₀₀₅ / Liter (Benzin) im Jahr 2030 (Rohölpreis von rund 65 US\$ ₂₀₀₅ in Anlehnung an Hochpreisszenario von EWI / Prognos) |
| Kfz-Steuer | Berücksichtigung der reformierten Kfz-Steuer, die künftig auch vom CO ₂ -Ausstoß eines Fahrzeugs bestimmt wird |

DER SZENARIO-PROZESS

Eine Gruppe aus Vertretern der Automobil-, Bahn-, Energie- und Logistikbranche sowie von Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden war im Rahmen eines zweijährigen Szenario-Prozesses maßgeblich in die Modell- und Szenarienentwicklung einbezogen.

Die Gruppe entschied, neben dem Basisszenario drei weitere Szenarien zu formulieren, auszugestalten und zu analysieren. In einem ersten Schritt wurde hierzu eine Matrix von energie-, umwelt- und verkehrspolitischen Maßnahmen erarbeitet. Auf dieser Basis wurden zunächst zwei rein analytische Szenarien entwickelt. Der Schwerpunkt des ersten Szenarios lag hauptsächlich auf ökonomischen Instrumenten, die Klimaschutz und den Einsatz erneuerbarer Energieträger auf der Nachfrageseite fördern können. Das zweite Szenario war darauf ausgerichtet, über ordnungspolitische Ansätze auf die Angebotsseite Einfluss zu nehmen.

Um die Wirkung konkreter Einzelmaßnahmen zu analysieren, wurden für beide Szenarien zusätzliche Varianten modelliert – jeweils nach dem Grundsatz der Ceteris-paribus-Klausel, die sicherstellt, dass stets nur die Auswirkungen einzelner Parameter betrachtet und bewertet werden.

Diese beiden rein analytischen Szenarien stellen keine realen Politiksznarien dar, sondern wurden ausschließlich dazu entwickelt, die Effektivität und Effizienz spezifischer Maßnahmenbündel quantitativ abzubilden und deren Wirkung einordnen zu können. Die Ergebnisse wurden daher nur zur Diskussion innerhalb der Szenario-Gruppe und des Begleitkreises herangezogen. Die beiden analytischen Szenarien sollten zudem dafür sensibilisieren, wie angebots- und nachfrageseitige Maßnahmen sinnvoll kombiniert werden können; sie stellen damit analytische Zwischenschritte auf dem Wege zu einem dritten Szenario – dem zentralen Klimaschutzszenario – dar.

SZENARIO »KLIMASCHUTZ IM VERKEHR: PERSPEKTIVEN BIS 2030«

Maßnahmen und Annahmen zur Entwicklung der Randbedingungen

Die Szenario-Gruppe diskutierte intensiv die Funktionalität des Analyseinstrumentes und die Ergebnisse der beiden analytischen Szenarien. Gesamt- und einzelwirtschaftliche Effekte werden durch das Modellinstrumentarium nicht abgebildet und sind kein Bestandteil der Szenariobetrachtung.

Im Projektverlauf gelang es, aus einer Anzahl von Möglichkeiten ein konsistentes Bündel von Annahmen für das Szenario »Klimaschutz im Verkehr: Perspektiven bis 2030« abzuleiten. Maßgabe hierbei war es, zusätzlich zum Basisszenario weitere Handlungsoptionen für den Klimaschutz im Verkehrssektor zu identifizieren und in ein schlüssiges Nachhaltigkeitsszenario – unter Einbeziehung von Strom und Wärme – für Deutschland zu integrieren.

Das Klimaschutzszenario ist als konsistentes Bild für 2030 zu verstehen und nicht als Politikempfehlung der einzelnen Akteure. Die Annahmen und Maßnahmen, die diesem Klimaschutzszenario zu Grunde liegen, sind im Einzelnen:

» Ausweitung des Angebots im Öffentlichen Verkehr

Das Angebot im Öffentlichen Verkehr (ÖV) wird deutlich ausgeweitet. Die Optimierung umfasst eine dichtere Taktung, zusätzliche direkte Linien, verlängerte Betriebszeiten, Beschleunigung von Bussen und Straßenbahnen. Die Umsetzung berücksichtigt regionalspezifische Besonderheiten und sieht eine maximale Erhöhung der Betriebsleistung von rund 25% vor. Die Ausweitung des ÖV-Angebots führt zu einer Verringerung der Reisezeiten und generell zu mehr Attraktivität des Öffentlichen Verkehrs.

» CO₂-Flottengrenzwert für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Für Pkw werden die CO₂-Flottengrenzwerte für 2020 und 2030 mit 110 g CO₂/km bzw. 80 g CO₂/km fortgeschrieben. Das Erreichen der Grenzwerte durch vermehrten Kauf von kleineren Fahrzeugen wird ausgeschlossen, d.h. die Verteilung der verschiedenen Pkw-Größenklassen wird aus dem Basisszenario übernommen. Für leichte Nutzfahrzeuge werden CO₂-Flottengrenzwerte von 135 g CO₂/km in 2020 und 100 g CO₂/km in 2030 festgesetzt.

» Einsatz von Elektrofahrzeugen

Der Pkw-Flottengrenzwert wird bis 2020 hauptsächlich durch den Einsatz besonders effizienter Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor erreicht, danach trägt ein zunehmender Anteil von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb (batterieelektrische und Plug-In-Hybridfahrzeuge) zu dessen Erreichung bei. Der für den Betrieb von Elektrofahrzeugen vergleichsweise geringe zusätzliche Strombedarf wird über erneuerbare Energien bereitgestellt.

» Anstieg der Kraftstoffpreise und Umstellung der Mineralölsteuer

Für die Jahre 2020 bzw. 2030 wird ein Anstieg der Preise für konventionellen Ottokraftstoff auf 2,00 bzw. 2,50 €₂₀₀₅ je Liter (real, inklusive Steuern, bezogen auf den Wert des Euro im Jahr 2005) sowie eine Angleichung der Preise vor Steuern für Otto- und Dieseldieselkraftstoff angenommen. Flankierend wird unterstellt, dass sich die Kraftstoffpreise auf internationaler Ebene ähnlich entwickeln. Die Berechnung der Mineralölsteuer wird ab 2020 auf die Treibhausgasintensität der Kraftstoffe bezogen, wobei Ottokraftstoff als Referenz dient. Das hat zur Folge, dass sich das Preisverhältnis Ottokraftstoff/Dieseldieselkraftstoff verschiebt und der Diesel im Jahr 2030 mit 2,55 €₂₀₀₅/Liter um fünf Cent über dem von Benzin liegt.

» Beimischung von Biokraftstoffen

Der Anteil von Biokraftstoffen als Beimischung zum konventionellen Kraftstoff erhöht sich bis 2020 auf 10% (energiebezogen, nach EU-Richtlinie) und bis 2030 weiter auf 15% und entspricht damit dem Verlauf im Basisszenario. Ergänzend werden jedoch weitere soziale und ökologische Kriterien vorausgesetzt, z.B. die Nutzung degradierter Anbauflächen, Nutzung biogener Abfall- und Reststoffe, höhere Löhne für Beschäftigte. Diese zusätzlichen Kriterien führen zu einer geringeren Bandbreite von einsetzbaren Biokraftstoffen und damit zu höheren Kosten. Die Festlegung solcher Kriterien für fossile Kraftstoffe scheint derzeit nicht wahrscheinlich. Könnten solche Kriterien auch für fossile Kraftstoffe festgelegt werden, so würde dies den Kostenunterschied zu Biokraftstoffen (relativ gesehen) nivellieren.

» Umstellung der Kfz-Steuer für Lkw

Die Bezugsgröße der Kfz-Steuer für Lkw wird ab 2020 auf CO₂-Emissionen umgestellt. Voraussetzung dafür ist ein genormtes Messverfahren zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs von Lkw. Die Umsetzung erfolgt auf Basis eines Bonus-Malus-Systems, das Fahrzeuge einer Klasse mit überdurchschnittlicher Effizienz entlastet und Fahrzeuge mit geringerer Effizienz stärker belastet. Im Durchschnitt bleibt das Steueraufkommen unverändert.

» Optimierung der Logistik

Durch eine Optimierung von Logistikstrukturen (z.B. eine Zunahme der Kontraktlogistik, Optimierung von Routen, Abnahme von Werksverkehr, Zunahme des Marktanteils effizienter Dienstleister) und die Bündelung von Warenströmen durch moderne Dispositions- und Telematiksysteme kann die Fahrzeugauslastung erhöht und der Leerfahrtenanteil im Güterverkehr verringert werden.

» Kraftstoffsparende Fahrweise

Eine Verbreitung von verbrauchsarmer Fahrweise wird erreicht durch die Ausgabe von Gutscheinen für Spritspartrainings beim Kauf eines Neuwagens, den flächendeckenden Einsatz von Schaltanzeigen in Fahrzeugen, günstigere Versicherungsprämien für Absolventen eines Spritspartrainings und die Aufnahme entsprechender Richtlinien für den öffentlichen Dienst.

» Nutzung moderner Telematik- und IT-Systeme

Der Einsatz von Telematiksystemen und IT-Technologien führt zu einem verbesserten Verkehrsmanagement. Dynamische Ziel- und Routenführungssysteme unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrssituation verringern die Stauhäufigkeit auf Autobahnen und mindern so den Kraftstoffverbrauch.

» Erhöhung der Lkw-Maut

Die Autobahn-Maut wird gegenüber den bestehenden Mautsätzen für Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über zwölf Tonnen weiter erhöht. Im Jahr 2030 beträgt der durchschnittliche Mautsatz 0,37 €₂₀₀₅/km. Fahrzeuge, die eine Kraftstoffersparnis von 25% (2020) und 30% (2030) gegenüber dem Durchschnittsverbrauch im Jahr 2005 aufweisen, erhalten einen Mautbonus von 0,10 €₂₀₀₅/km.

DIE ERGEBNISSE

SZENARIO »KLIMASCHUTZ IM VERKEHR: PERSPEKTIVEN BIS 2030«

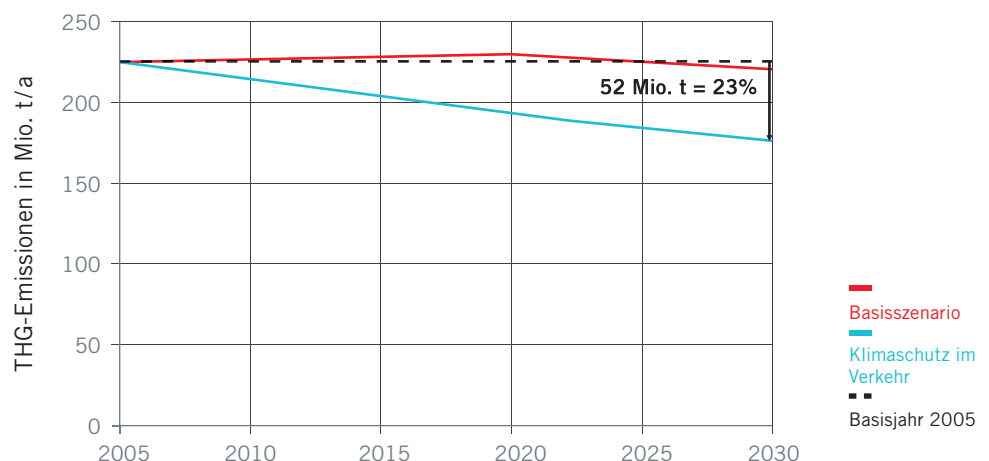
Um die Klimarelevanz des Verkehrssektors zu analysieren und zu beurteilen, ist es wichtig, die gesamten Emissionen zu berücksichtigen, also nicht nur die Treibhausgase aus der Betriebsphase der Fahrzeuge, sondern die komplette Emissionsfracht an Treibhausgasen, die Verkehrssysteme mit sich bringen. Berücksichtigt wurden bei der Emissionsbilanzierung im Rahmen von Renewbility daher nicht nur die **direkt** von den Verkehrsträgern emittierten Treibhausgase, sondern ebenso die sogenannten **indirekten** Emissionen, die durch die Herstellung der Kraftstoffe im In- und Ausland und durch die Produktion der Fahrzeuge entstehen.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass der Verkehrssektor seine Klimabilanz in den kommenden Jahren wesentlich verbessern kann. Im Folgenden werden die einzelnen Resultate und Schlussfolgerungen erläutert.

GESAMTVERKEHR

Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs

Bis 2030 sind Minderungen der Treibhausgasemissionen um 23% gegenüber 2005 möglich, wenn alle Annahmen und Maßnahmen zusammenwirken.



Im Basisszenario bleiben die Treibhausgasemissionen (THG) des Verkehrs verglichen mit dem Basisjahr 2005 trotz zunehmender Fahrleistung aufgrund effizienterer Fahrzeuge und steigendem Anteil von Biokraftstoffen nahezu konstant. Die Modellergebnisse zeigen zudem: Mit dem ausgewählten Bündel von Maßnahmen und Annahmen für künftige Rahmenbedingungen können die Emissionen bis 2030 im Klimaschutzszenario um 52 Mio. t auf 174 Mio. t gesenkt werden. Dies entspricht einer Minderung von 23% gegenüber dem Basisjahr 2005. Damit wird deutlich, dass mit den getroffenen Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen auch der Verkehrssektor einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

EINORDNUNG IN DAS NATIONALE KLIMASCHUTZZIEL

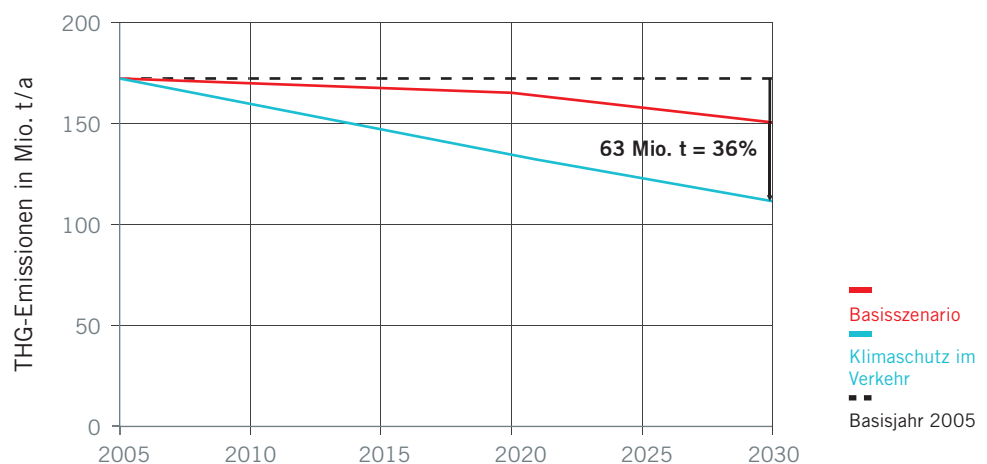
Werden **nur die direkten** Treibhausgasemissionen des Verkehrssektor betrachtet, wie sie in der nationalen und internationalen Klimaberichterstattung dokumentiert werden, so ergeben sich für das Klimaschuttszenario Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 131 Mio. t in 2020 und von rund 115 Mio. t in 2030.

Im Jahr 1990 betragen die direkten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors 160 Mio. t, im Jahr 2005 161 Mio. t – die Emissionen des Straßenverkehrs nahmen in diesem Zeitraum ab, die des Flugverkehrs zu. Das im Rahmen der Szenario-Gruppe zusammengestellte Bündel von Annahmen und Maßnahmen für den Verkehrsbereich kann damit zu den nationalen Klimaschutzzielen bis 2020 mit einer Minderung von knapp 20% im Verkehrssektor gegenüber 1990 beitragen.

PERSONENVERKEHR

Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs

Im Personenverkehr kann bis 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 36% gegenüber 2005 erreicht werden.



Im Personenverkehr werden bereits im Basisszenario ohne weitere emissionsmindernde Maßnahmen bis 2030 Reduktionen um 23 Mio. t gegenüber 2005 erreicht, obwohl die zugrundeliegenden Prognosen davon ausgehen, dass die Verkehrsleistungen bis dahin um 7% steigen. Die Minderungen bei gleichzeitig steigender Verkehrsleistung sind zum einen auf effizientere Pkw aufgrund des Flottengrenzwertes für 2012, zum anderen auf den wachsenden Anteil von Biokraftstoffen zurückzuführen.

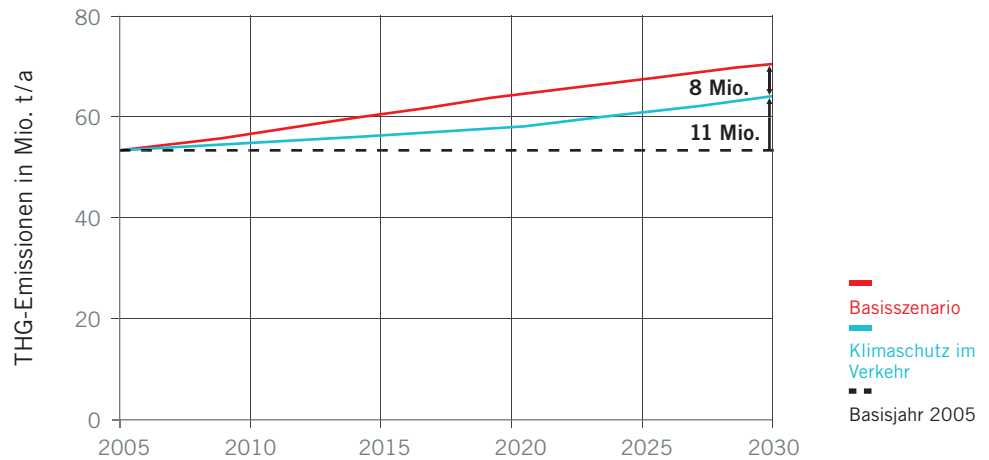
Das Bündel von Annahmen und Maßnahmen, das die Szenario-Gruppe erarbeitet hat, könnte darüber hinaus noch deutlich höhere Minderungspotenziale ausschöpfen: Die Reduktionen der Treibhausgase summieren sich im Klimaschuttszenario auf 63 Mio. t bzw. 36% bezogen auf das Jahr 2005.

Der Rückgang der **spezifischen** Treibhausgasemissionen **pro Personenkilometer** liegt bis 2030 bei rund 43%. Das macht deutlich, dass die Minderungen noch wesentlich höher ausfallen würden, gäbe es nicht gleichzeitig einen weiteren Anstieg der Verkehrsleistung.

GÜTERVERKEHR

Entwicklung der Treibhausgasemission des Güterverkehrs

Der zu erwartende Anstieg der Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs kann bis 2030 auf 11 Mio. t begrenzt und damit nahezu halbiert werden.



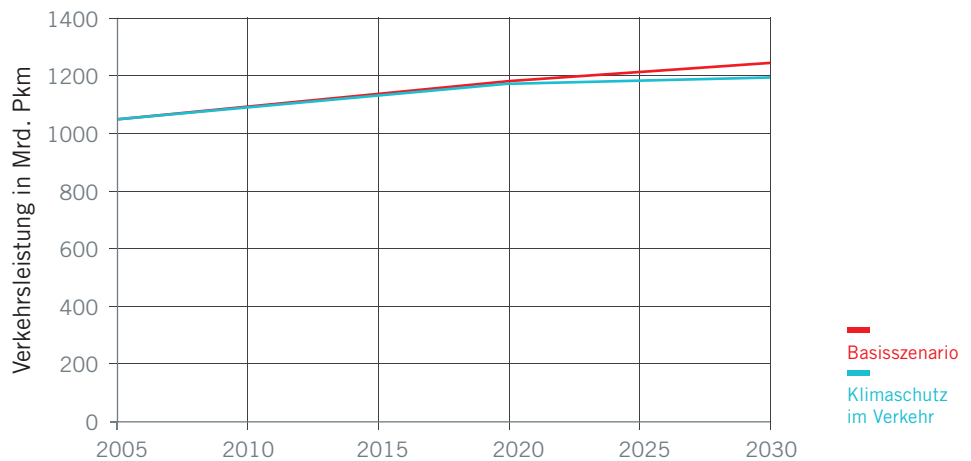
Im Basisszenario steigen die Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs bis 2030 um fast 20 Mio. t gegenüber dem Basisjahr 2005. Durch die getroffenen Annahmen und Maßnahmen kann dieser Anstieg zwar deutlich auf 11 Mio. t gedämpft werden, gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 werden aber keine Emissionsminderungen erzielt. Hauptursache hierfür ist der durch Industrie und Konsum induzierte, starke Anstieg der Transportleistung im Güterverkehr. Die **spezifischen** Treibhausgasemissionen **pro Tonnenkilometer** nehmen zwar durch die zusätzlichen Annahmen und Maßnahmen um rund 35% gegenüber dem Basisjahr 2005 ab – insgesamt steigen die Emissionen jedoch wegen der starken Zuwächse der Transportleistung an. Auch bleibt der Lkw trotz einer leichten Verschiebung hin zu Bahn und Binnenschiff unter den getroffenen Annahmen weiterhin das dominante Güterverkehrsmittel.

PERSONENVERKEHR

Auch künftig ist ein hohes Maß an Mobilität gewährleistet – bei gleichzeitig stark sinkenden Emissionen und weiterhin hoher Verkehrsleistung im Personenverkehr.

Bis 2030 wird die Personenverkehrsleistung gegenüber dem Basisszenario um nur 4% gedämpft – bei gleichzeitiger Minderung der Treibhausgasemissionen um 36%. Beeinflusst wird dieser Effekt unter anderem dadurch, dass der Öffentliche Verkehr einen Anstieg der Verkehrsleistung von rund 11% verzeichnet. Eine wesentliche Ursache für den Umstieg auf klimaverträglichere Verkehrsträger sind verbesserte Angebote im ÖPNV und leicht erhöhte Kosten des motorisierten Individualverkehrs, was sich insbesondere in Städten und Ballungsräumen bemerkbar macht. Im beispielhaft simulierten Raum Braunschweig nimmt der Anteil des ÖPNV am Wegeaufkommen von 4,6% im Jahr 2005 auf 9,5% bis 2030 zu. In Ballungsräumen mit einem meist bereits sehr guten ÖPNV-Angebot fällt der Zuwachs mit 1,8% moderater aus. Annähernd unverändert bleibt der Modal Split im ländlichen Raum, da dort das ÖPNV-Angebot trotz Ausweitung auf niedrigem Niveau verharret und überwiegend größere Distanzen zurückgelegt werden müssen.

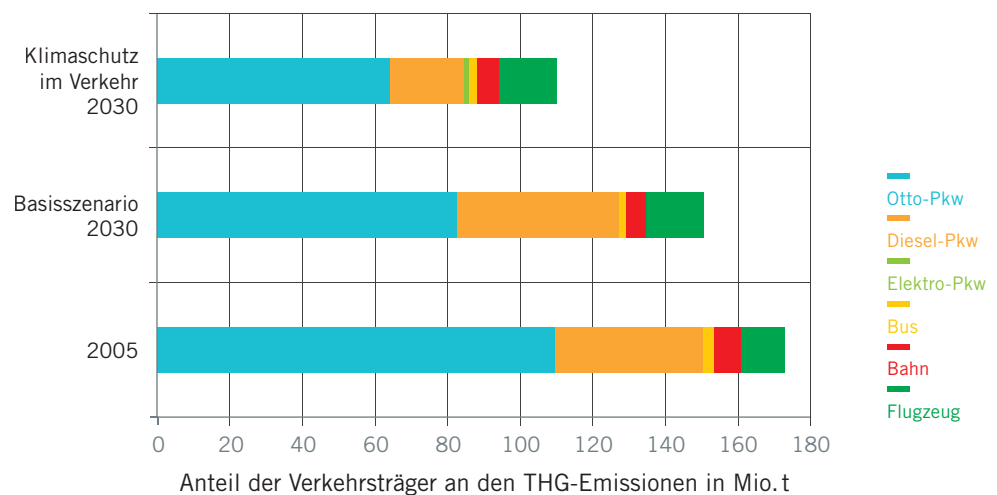
Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr



Der motorisierte Individualverkehr leistet den größten Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen: Sie können von rund 150 Mio. t in 2005 auf etwa 85 Mio. t reduziert werden. Haupttreiber ist auch hier die Effizienzverbesserung der Pkw, gefolgt von einem auf 15% ansteigenden Biokraftstoffanteil.

Gleichzeitig bleibt der motorisierte Individualverkehr Hauptverkehrsträger und damit auch Hauptemittent im Personenverkehr. Dies liegt vor allem daran, dass die Gesamtfahrleistung des motorisierten Individualverkehrs trotz der Maßnahmen im Vergleich zu 2005 um rund 7% ansteigt, was auf zunehmende Wegelängen, eine steigende Pkw-Verfügbarkeit sowie die wachsenden Verkehrsleistungen älterer Autofahrer zurückzuführen ist.

Treibhausgasemissionen im Personenverkehr differenziert nach Verkehrsträgern

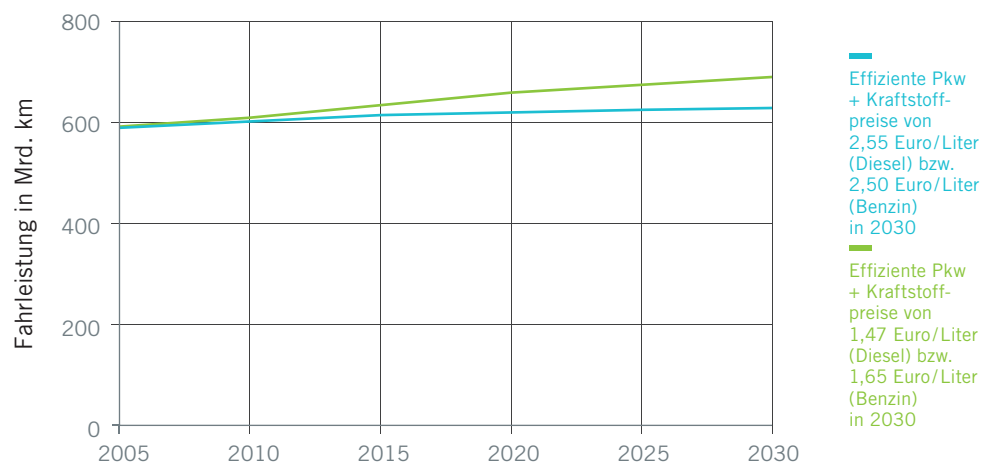


PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR

Effizientere Fahrzeuge haben den höchsten Anteil an der Treibhausgasminderung – in Verbindung mit höheren Kraftstoffpreisen kann dieser Effekt weiter verstärkt werden.

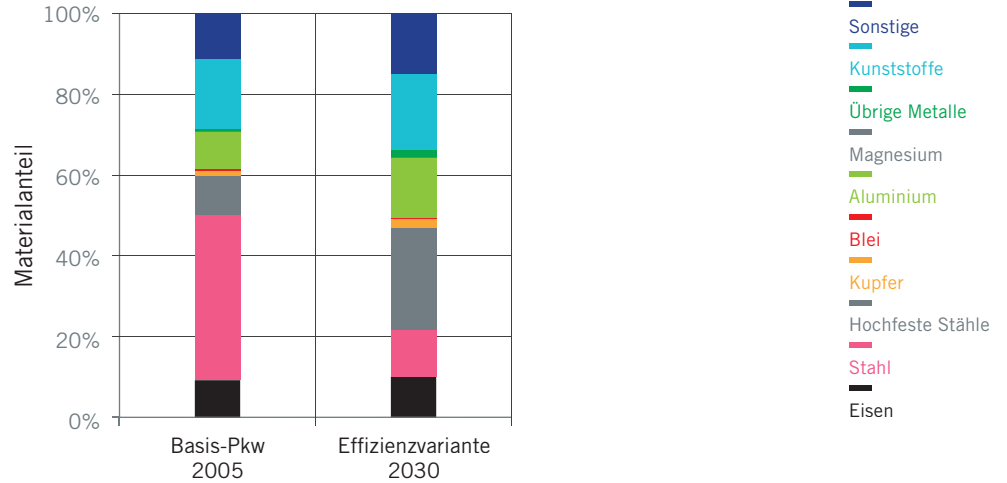
Verglichen mit dem Basisszenario hat der Personenverkehr in 2030 einen Anteil von 84% am Gesamtminderungspotenzial. Effizientere Fahrzeuge können 35 Mio. t einsparen, Verkehrsvermeidung und -verlagerung 2,1 Mio. t und sparsame Fahrweise 4 Mio. t. Das Minderungspotenzial des Güterverkehrs liegt gegenüber dem Basisszenario im Jahr 2030 bei rund 16%, wobei 10 Mio. t durch technische Optimierung der Lkw, 1 Mio. t durch Verlagerung und Vermeidung und 5 Mio. t durch verbrauchsarmes Fahren erreicht werden. Der Beitrag der Biokraftstoffe zur Emissionsminderung fällt im Klimaschutzszenario nicht signifikant höher aus als im Basisszenario, da deren Anteil in beiden gleich hoch angesetzt wird und sich nur deren Herstellung und Herkunft unterscheiden.

Entwicklung der Fahrleistung im motorisierten Individualverkehr bei unterschiedlichen Kraftstoffpreisen



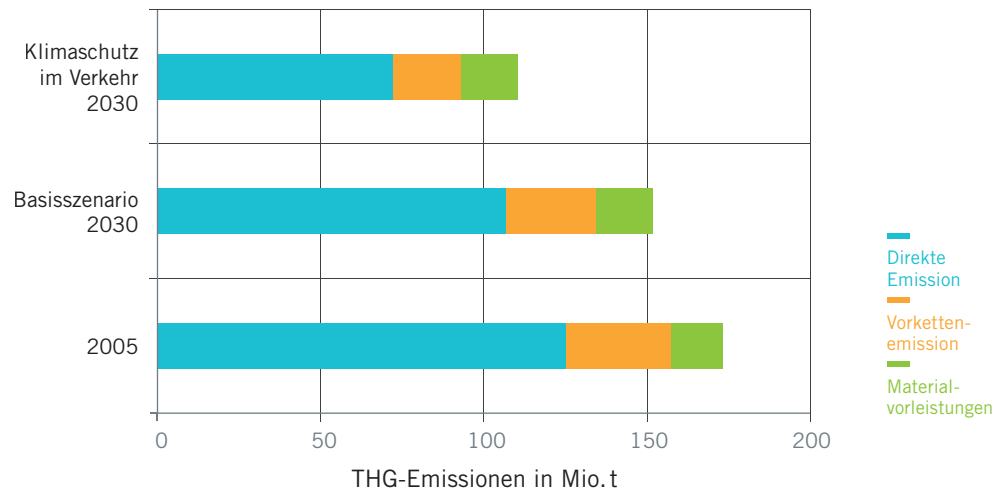
Sparsame Fahrzeuge machen den motorisierten Individualverkehr bei konstanten Kraftstoffpreisen attraktiver, weil wirtschaftlicher. Im Klimaschutzszenario werden daher mögliche »Rebound«-Effekte – vor allem ein Anstieg der Verkehrsleistung – durch die angenommene Erhöhung der Kraftstoffpreise auf 2,50 bzw. 2,55 €₂₀₀₅/Liter verhindert. Blieben die Kraftstoffpreise dagegen auf dem Niveau des Basisszenarios (1,65 bzw. 1,47 €₂₀₀₅/Liter) und die Pkw so effizient wie im Klimaschutzszenario, würde die Fahrleistung von 633 Mrd. auf 691 Mrd. Fahrzeugkilometer deutlich steigen und damit selbst der Wert des Basisszenarios in 2030 übertreffen. Das Modellierungsergebnis zeigt: Das Potenzial zur Minderung der Treibhausgasemissionen durch die Einführung sparsamer Fahrzeuge kann in Verbindung mit höheren Kraftstoffpreisen noch weiter gesteigert werden.

**Materialzusammensetzung
am Beispiel eines
mittelgroßen Otto-Pkw**



Effizientere Fahrzeuge weisen eine veränderte Materialzusammensetzung auf, beispielsweise mehr Leichtmetalle wie Aluminium, deren Produktion allerdings energieintensiv ist. Bei einem besonders effizienten, mittelgroßen Hybrid-Otto-Pkw liegt im Jahr 2030 z.B. der Kupferanteil bedingt durch den Elektromotor höher als im Jahr 2005. Die Veränderung der Materialzusammensetzung, kombiniert mit der deutlichen Effizienzsteigerung und damit geringeren Emissionen während der Nutzungsphase, führen dazu, dass der Emissionsanteil der Materialvorleistungen von 9% auf 16% ansteigt. Jedoch wird dies durch die vermiedenen Emissionen beim Betrieb der Fahrzeuge mehr als kompensiert.

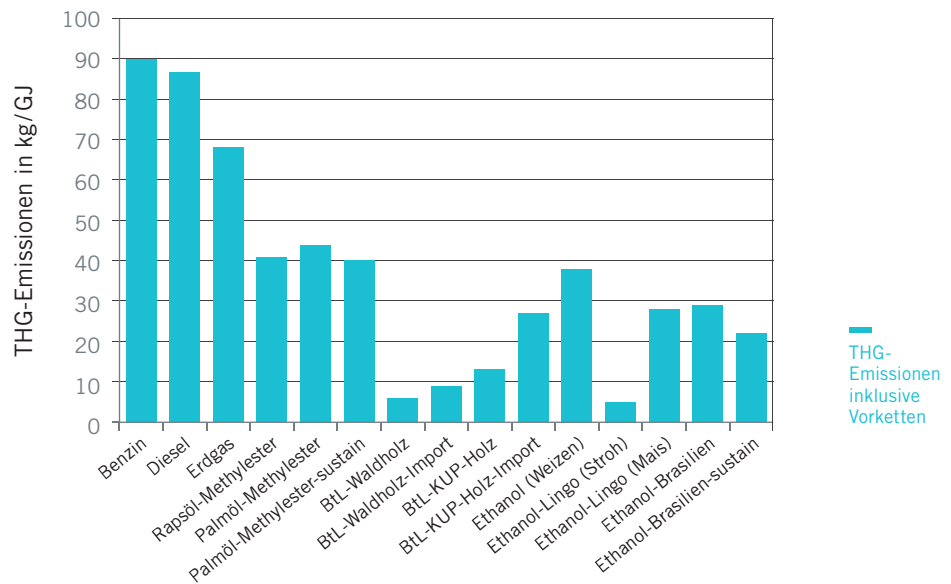
**Treibhausgasemissionen
des Personenverkehrs
differenziert nach direkten
und indirekten Emissionen**



Die Treibhausgasemissionen des eingesetzten Kraftstoffmixes sinken aufgrund der Verwendung von Biokraftstoffen bis 2030 um knapp 10%.

Für alle Biokraftstoffe gelten in Renewbility Umweltstandards entsprechend der neuen EU-Richtlinie (z.B. ab dem Jahr 2020 mindestens 65% weniger Treibhausgase verglichen mit konventionellem Kraftstoff), die im Klimaschutzszenario verschärft und durch Sozialstandards ergänzt wurden. Ein Anteil von 15% Biokraftstoffen, die mindestens 65% weniger Emissionen als konventionelle Kraftstoffe aufweisen, führt damit bis 2030 zu einer 10%igen Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen des eingesetzten Kraftstoffes. Die Biokraftstoffe werden vorwiegend aus Reststoffen (zu ca. 60%) sowie aus Anbau-biomasse von ehemals degradierten Flächen (ca. 40%) hergestellt, um Landnutzungskonflikte zu vermeiden. Dies führt zwar zu spezifisch höheren Kosten, die aber wegen der begrenzten Beimischungsquote kaum Mehrkosten gegenüber dem Basisszenario bedeuten. Bioethanol aus Brasilien und Biodiesel aus Palmöl (beide von degradierten Anbauflächen) machen nur knapp 20% der Gesamtmenge aus; ein großer Teil stammt bis 2030 aus der Produktion von Biokraftstoffen der sogenannten 2. Generation. Sie werden aus heimischen Rest- und Abfallstoffen bzw. aus Biomasse von degradierten Anbauflächen in Mittel- und Osteuropa hergestellt.

Treibhausgasemissionen verschiedener Kraftstoffe inklusive der Vorketten



Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergiebedarf steigt bis 2030 um den Faktor vier.

Der in Renewbility modellierte Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehr (Biokraftstoffe und erneuerbarer Strom für Elektrofahrzeuge) führt – ausgehend von knapp 4% in 2005 – bis zum Jahr 2030 zu einem deutlichen Anstieg auf gut 16% des gesamten Endenergiebedarfs des Verkehrs. Der überwiegende Teil dieses Anstiegs geht auf die Beimischung von Biokraftstoffen zurück; der kleinere, erst nach 2020 stark steigende Anteil beruht auf dem verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen, die mit erneuerbarem Strom betrieben werden.

Entscheidend für die relativ starke Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien ist die massive Verbesserung der Energieeffizienz aller Fahrzeuge. Im Basisszenario steigt der Endenergiebedarf des Verkehrs bis 2030 noch leicht an, im Klimaschutzszenario kann er dagegen um knapp 20% gegenüber 2005 reduziert werden. Aufgrund der deutlichen Senkung des Verbrauchs steigt der relative Anteil erneuerbarer Energien deutlicher an als ihr absoluter Beitrag zur Energiebereitstellung.

Nutzungskonkurrenzen um Biomasse werden durch Einsatz von Abfall- und Reststoffen sowie Biomasse von degradierten Flächen vermieden.

Die Nutzung von Biomasse dient primär der Strom- und Wärmebereitstellung, die Produktion von Biokraftstoffen erfolgt im Rahmen der EU-Zielvorgaben bzw. deren Fortschreibung, wofür auch – nachhaltig bereitgestellte – Importe dienen.

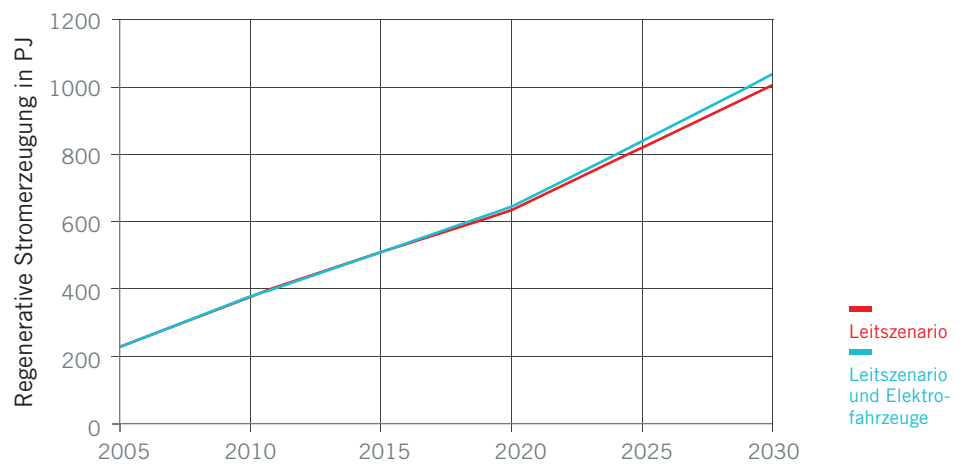
Die parallele Ausweitung der (roh)stofflichen Nutzung von Biomasse als Erdölersatz ist keine Konkurrenz, da biogene Produkte nach Ende ihrer stofflichen Nutzung energetisch »nachgenutzt« werden, das bedeutet eine Ausweitung der Nutzung biogener Abfall- und Reststoffe.

Eine Konkurrenz um Flächen bei Biomasse aus Exportländern wird im Klimaschutzszenario durch die Fokussierung des Anbaus auf degradierten Flächen vermieden – dies ist zwar deutlich teurer als die Nutzung von Acker- oder Weideland, hat aber keine negativen indirekten Effekte und zeigt zudem positive soziale Auswirkungen durch die Schaffung von Arbeitsplätzen vor Ort und durch eine Unterstützung der Regionalentwicklung.

Elektromobilität verursacht bis 2030 nur einen vergleichsweise geringen zusätzlichen Strombedarf aus erneuerbaren Energien.

Im Klimaschutzscenario erreichen rein elektrisch betriebene Pkw im Jahr 2030 mit 1,4 Mio. Fahrzeugen einen Anteil am Bestand von rund 3% und Plug-In-Hybride mit 5,1 Mio. Fahrzeugen einen Anteil von gut 10%. Der zusätzliche Strombedarf summiert sich auf rund 35 PJ (etwa 10 TWh) und wird entsprechend der getroffenen Annahmen über den Einsatz erneuerbarer Energien gedeckt. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung steigt bis 2030 nach dem Leitszenario des Bundesumweltministeriums auf gut 45%; dies entspricht über 280 TWh Strom. Der Ausbau der Elektromobilität wird bis 2030 demnach mit rund 3% einen vergleichsweise geringen zusätzlichen Strombedarf aus erneuerbaren Energien über das Leitszenario hinaus erfordern.

Zusätzlicher Bedarf an Strom aus erneuerbaren Energien durch Elektromobilität



SIND WEITERGEHENDE EMISSIONSMINDERUNGEN MÖGLICH?

Die dargestellten Ergebnisse des Szenarios »Klimaschutz im Verkehr: Perspektiven bis 2030« sind keine Visionen, sie beschreiben vielmehr einen durchaus möglichen und plausiblen Entwicklungspfad innerhalb der Modellgrenzen. Verglichen mit einem bereits recht anspruchsvollen Basisszenario basieren sie auf zusätzlichen Annahmen und Maßnahmen. Gleichwohl stellt sich die Frage, ob weitere Maßnahmen bzw. geänderte Grundannahmen denkbar sind, die zu weiteren Minderungen der Treibhausgasemissionen führen können.

Um dies zu untersuchen, wurden im Rahmen des Klimaschutzszenarios weitere Varianten modelliert, in denen einzelne geänderte Annahmen – z.B. bezüglich Fahrzeugkonfigurationen, Kraftstoffzusammensetzung und -preisentwicklung, fiskalischer oder ordnungspolitischer Maßnahmen – zugrunde gelegt wurden, die zum Teil durchaus weitere Minderungspotenziale aufzeigen².

Annahmen können nur bedingt die Realität abbilden und Modellrechnungen können stets nur eine begrenzte Zahl von Einflussfaktoren erfassen. Beispielsweise wird in den Renewbility-Szenarien von einem anhaltenden Wirtschaftswachstum, von steigenden Einkommen und einem unveränderten Mobilitätsbudget ausgegangen. Längerfristige Veränderungen der Siedlungsstruktur, die Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten haben, wurden nicht abgebildet. Eine Re-Urbanisierung beispielsweise könnte zukünftig zu einem Rückgang der Verkehrsleistung führen und durch den gezielten Ausbau von Fuß- und Fahrradwegen könnte insbesondere in Städten und Ballungszentren der Anteil des motorisierten Verkehrs reduziert werden.

Ähnliches gilt für den Güterverkehr. Da in der Szenarienbetrachtung keine Veränderung der Wirtschaftsrahmendaten angenommen wird, orientieren sich das Güterverkehrsaufkommen und die Transportleistung an den Angaben der Verkehrsprognose 2025. Vor dem Hintergrund der aktuellen Wirtschaftskrise stellt sich durchaus die Frage, ob nicht zukünftig auch andere als die hier angenommenen Entwicklungspfade realistisch sind, Entwicklungen also, die mit einem geringeren Anstieg der Transportleistung einhergehen.

Auch im Flugverkehr – für den hohe Wachstumsraten erwartet werden – sind Maßnahmen wie die Einführung einer Kerosinsteuer oder die Einbeziehung des Flugverkehrs in den Emissionshandel denkbar, die weitere Minderungspotenziale im Verkehrssektor ermöglichen könnten, im Rahmen des Klimaschutzszenarios jedoch nicht betrachtet wurden.

Die Minderung der Transportleistung würde einen deutlichen Effekt auf die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors haben, was die folgenden Überlegungen zeigen:

Eine zusätzliche Minderung der Personenverkehrsleistung im Jahr 2030 um 10% würde im Klimaschutzszenario zu weiteren Treibhausgasminderungen in Höhe von 11 Mio. t führen.

Würde sich die Transportleistung des Güterverkehrs im Jahr 2030 auf dem Niveau des Jahres 2005 stabilisieren, läge die Minderung der Treibhausgasemissionen bei den im Klimaschutzszenario betrachteten Annahmen und Maßnahmen bei 35%. Würde die Transportleistung von 2005 bis 2030 nicht – wie in der Verkehrsprognose angenommen – um 91% steigen, sondern nur um 50%, könnten die Emissionen des Güterverkehrs auf dem heutigen Niveau stabilisiert werden.

Die im Klimaschutzszenario aufgezeigten Potenziale für den Klimaschutz und die Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Verkehrssektor sind mit verkehrspolitisch ambitionierten Maßnahmen und Annahmen verbunden. Die Frage, ob nicht noch weitere Maßnahmen einen Beitrag zum Klimaschutz leisten könnten, beantwortet das Szenario nicht abschließend. Durch Veränderungen der Siedlungs- und Raumordnungspolitik, eine Förderung des Fahrrad- und Fußgängerverkehrs oder die Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe könnten Minderungspotenziale stärker ausgeschöpft werden, was dem Ziel der Bundesregierung, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% gegenüber 1990 zu senken, noch einen Schritt näher rücken würde. Dies würde aber erhebliche strukturelle Veränderungen in Mobilitätsangebot, -strukturen und -verhalten bedeuten, was wiederum voraussetzt, frühzeitig Maßnahmen zur gesellschaftlichen Akzeptanz dafür einzuleiten.

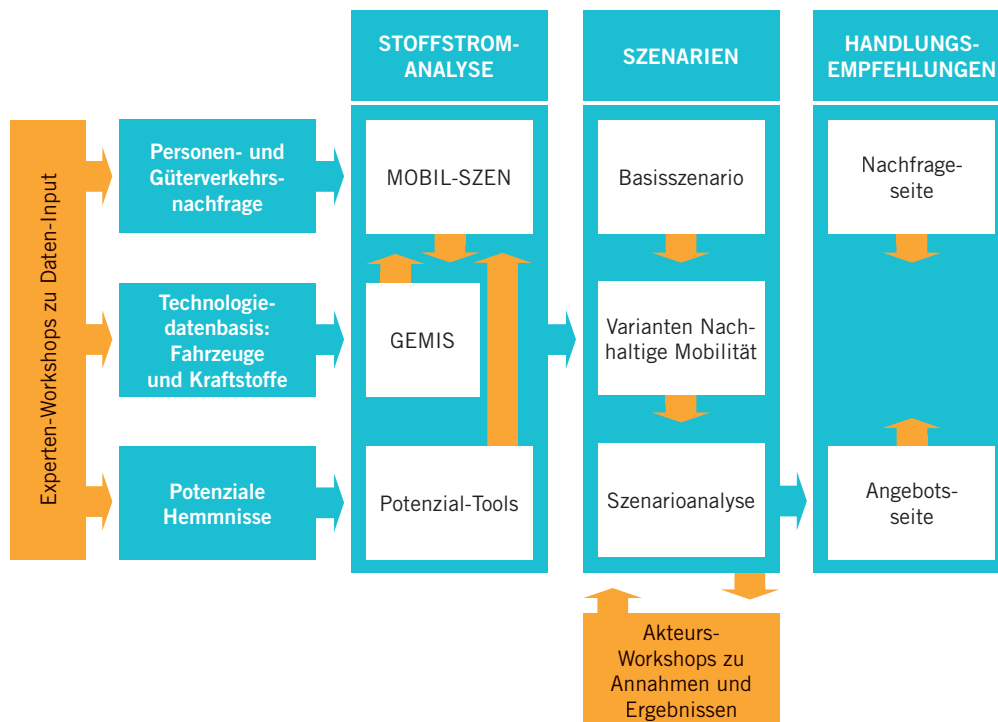
²Eine detaillierte Modellbeschreibung und weiterführende Ergebnisse werden im Forschungsbericht zum Vorhaben »Renewbility« im Herbst 2009 veröffentlicht.

DIE MODELL- UND SZENARIENENTWICKLUNG

Für die Entwicklung von Szenarien für einen nachhaltigeren und klimaschonenden Verkehr sind umfangreiche Vorarbeiten und Datensammlungen die wesentliche Grundlage. Im Rahmen von Renewbility wurden vorhandene Nachfragemodelle zur Abbildung der Entwicklungen sowohl im Personenverkehr wie auch im Güterverkehr fortentwickelt. Parallel erarbeitete das Forschungsteam eine Datenbasis, die insbesondere die Emissionsrelevanz von Fahrzeugen und Kraftstoffen inklusive deren Herstellungsketten erfasst. Zudem wurden Potenzialanalysen zur Verfügbarkeit von Energieträgern erstellt. Diese Arbeiten bildeten den ersten Arbeitsschritt im Prozess, die Daten wurden in Experten-Workshops auf Plausibilität und Qualität hin verifiziert.

In einem zweiten Schritt wurden die erarbeiteten Module in einem EDV-Werkzeug zur Stoffstromanalyse miteinander gekoppelt, das sich aus dem Szenario-Tool »MOBIL-SZEN«, dem Prozesskettenmodell GEMIS und Potenzialbestimmungstools zusammensetzt. Daraus schließlich haben das Wissenschaftlerteam gemeinsam mit den beteiligten gesellschaftlichen Akteuren Szenarien abgeleitet, die unterschiedlichste Annahmen und Maßnahmen für eine nachhaltige Mobilität berücksichtigen. Am Ende des Forschungsvorhabens wird die Ableitung von Handlungsempfehlungen bezogen sowohl auf die Nachfrageseite als auch auf die Angebotsseite stehen.

Der Prozess im Renewbility-Verbundvorhaben mit den wichtigsten Arbeitsschritten



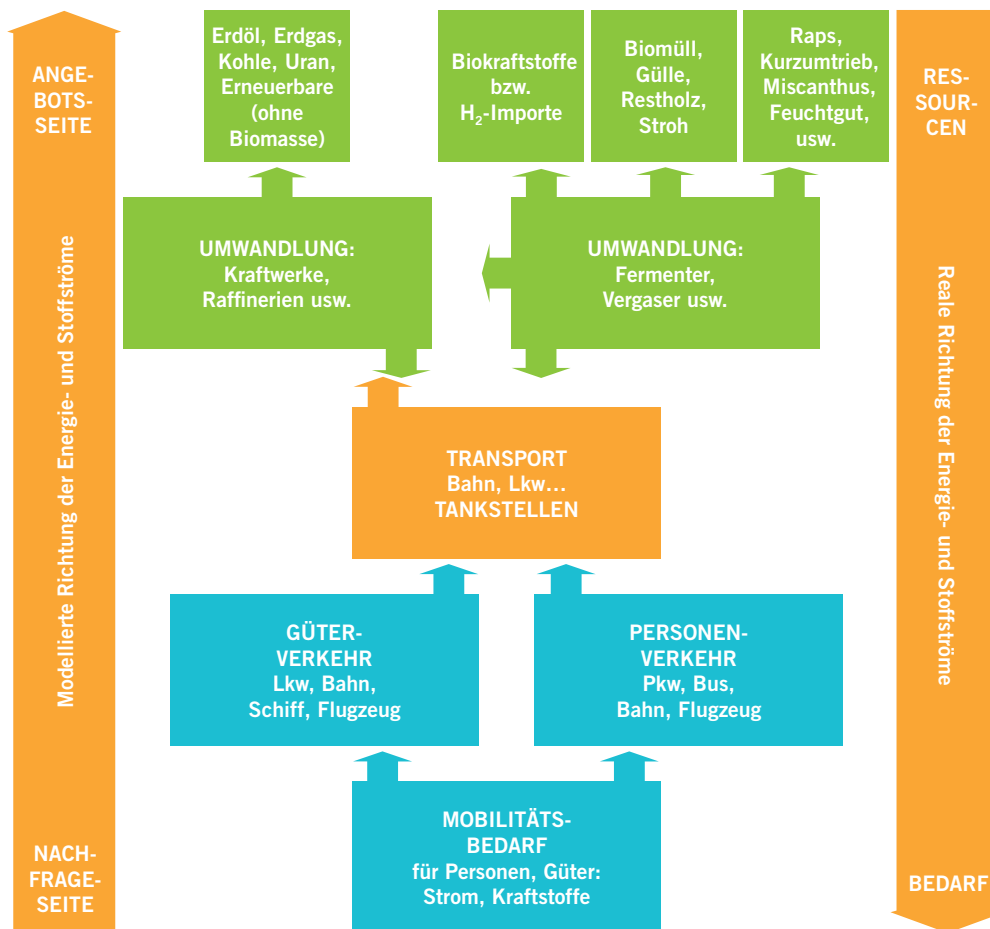
STOFFSTROMANALYSE

Das Projekt Renewbility nutzt das Konzept der Stoffstromanalyse, um ökologische und ökonomische Effekte unterschiedlicher Szenarien zur Mobilität auszuloten.

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 Gewinnung und Nutzung von Ressourcen integriert werden; auch Effekte beispielsweise durch Rohstoff- oder Energieimporte sind abbildbar.

Während die realen Energie- und Stoffströme von der Rohstoffgewinnung hin zur Bereitstellung der Kraftstoffe 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. Mit in die Stoffstromanalyse einbezogen werden Transporte, z.B. die Distribution von Kraftstoffen im Tankstellennetz, außerdem Umwandlungsprozesse beispielsweise in Raffinerien sowie die Gewinnung der Rohstoffe, beim Erdöl im Wesentlichen die Förderung, bei Biokraftstoffen z.B. der Anbau der Biomasse im In- und Ausland.

Energie- und Stoffströme: Die wesentlichen Prozessketten der Stoffstromanalyse



Die Stoffstromanalyse untersucht die komplexe Wechselwirkung der Stoff- und Energieströme und stellt deren Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Beschäftigung zur Diskussion. Damit unterstützt sie die Meinungsbildung bei Entscheidungsträgern in Politik, Wirtschaft

und Gesellschaft. Letzten Endes liefert eine umfassende Analyse der Energie- und Stoffströme Daten und Anregungen für die politische Operationalisierung des Leitbilds der Nachhaltigen Entwicklung im Verkehrssektor.

DIE MODELLIERUNG DER VERKEHRSNACHFRAGE

Maßgeblich für die Stoffstromanalyse ist die Nachfrage nach einzelnen Verkehrsmitteln, die sich aus den Mobilitätsbedürfnissen der Menschen und dem Bedarf an Gütertransporten ergibt. Um die Nachfrage zu bestimmen, wurden die in den Szenarien angewendeten Maßnahmen

und Annahmen zugrunde gelegt. In verschiedenen Modellen erfassten die Wissenschaftler den zukünftigen Verkehr für die grundlegenden Raumtypen sowie für unterschiedliche Verkehrs- bzw. Fahrzeugarten – Straßenfahrzeuge, Bahn, Binnenschiff und Flugzeug.

Die Modellierung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr



Der Personenverkehr

Um künftige Veränderungen bei der Nachfrage im Personenverkehr möglichst realitätsnah abzubilden, wurde ein Modellansatz gewählt, der das unterschiedliche Verkehrsverhalten einzelner Bevölkerungsgruppen gezielt berücksichtigt. Dies gelingt durch die sogenannte »mikroskopische Modellierung«, die das Verhalten von typisierten Einzelpersonen simuliert. Damit können nicht nur Verhaltensunterschiede zwischen Personen-

gruppen, sondern auch unterschiedliche Empfindlichkeiten der Verkehrsteilnehmer auf bestimmte Randbedingungen reproduziert werden. Da das Mobilitätsverhalten von Menschen stets auch von räumlichen Gegebenheiten abhängt, werden neben den individuellen Eigenschaften der betrachteten Personentypen auch drei Raumtypen (ländlich, verstädert, hoch verdichtet) berücksichtigt, in denen diese Personen leben und arbeiten.

Das eingesetzte Modell simuliert und interpretiert das Verkehrsverhalten als Ergebnis von Aktivitätsmustern. Es modelliert das gesamte Verkehrsaufkommen, indem quasi für jeden Einwohner einer Stadt oder Region die Mobilitätsnachfrage bestimmt wird. Diese »synthetische Bevölkerung« wird aus unterschiedlichen Datenquellen zu sozioökonomischen Personenmerkmalen erstellt, um der Realität möglichst nahe zu kommen. Durch Abbildung der Örtlichkeiten, die für die Mobilität entscheidend sind, und mit Hilfe eines Moduls zur Verkehrsmittelwahl werden die Ortsveränderungen der einzelnen Personentypen modelliert.

Die Ergebnisse, die mit dem mikroskopischen Modell exemplarisch für die drei Raumtypen erzielt werden, wurden mit einem makroskopischen Nachfragemodell so aggregiert, dass eine Bewertung der Maßnahmen mit Bezug auf die gesamte Verkehrsleistung in Deutschland möglich wird. Die Verknüpfung von beiden Modelltypen kommt in Renewbility erstmals zum Einsatz.

DAS MIKROMODELL:

Ein Tag im Leben einer mobilen Einzelperson

Im Mikromodell wird beispielsweise für eine weibliche, berufstätige Autofahrerin im Alter zwischen 25 und 44 Jahren ein empirischer Tagesplan festgelegt. Für alle mobilitätsrelevanten Aktivitäten, beispielsweise den Einkauf, wird bestimmt, welche Möglichkeiten in Frage kommen und wie die Person dorthin gelangt. Vorausgesetzt wird dabei z.B., dass sie nahe gelegene Einkaufszentren mit großem Angebot eher auswählt als schlechter erreichbare mit kleinem Angebot.

Die simulierte Person nutzt je nach zeitlichem und finanziellem Aufwand – der im Modell nach Einkommen und Haushaltgröße variiert wird – für ihren Einkauf z.B. dann den ÖPNV, wenn der einen wesentlichen Zeitvorteil bietet, oder das Fahrrad für kurze Strecken. Das Auto steht der Person nicht immer zur Verfügung, da es auch von anderen Haushaltsmitgliedern genutzt wird.

Ziele und Verkehrsmittel für alle anderen Aktivitäten des Tages wählt die Person nach dem gleichen Muster aus. »Am Abend« – nach Durchlaufen aller Aktivitäten – überprüft das Simulationsmodell, ob die notwendige Mobilität zeitlich und finanziell umsetzbar ist. Ist das nicht der Fall, wird die Person ein weiteres Mal mit anderen Zielen und Verkehrsmitteln auf die virtuelle Reise geschickt.

Mobil sein ist für viele Menschen gleichbedeutend mit dem eigenen Auto. Gleichzeitig bestimmt der motorisierte Individualverkehr wesentlich den Einfluss des Personenverkehrs auf das Klima und auch auf die Mobilitätskosten des Einzelnen. Die Entscheidungsprozesse beim Kauf eines Autos nehmen daher einen hohen Stellenwert ein, da das erworbene Pkw-Modell Kosten und Emissionen über einen langen Zeitraum wesentlich beeinflusst. Zur Bestimmung der künftigen Struktur der Neuzulassungen wird bei Renewbility deshalb ein ökonometrisches Modell verwendet. Es handelt sich hierbei nicht um eine Prognose des Kundenverhaltens. Vielmehr wird die Möglichkeit geschaffen, wahrscheinliche Auswirkungen technischer als auch preislicher Veränderungen im Automarkt auf die Nachfrage und damit auf die Zusammensetzung der Neuwagenflotte abzuschätzen.

Der Güterverkehr

Maßnahmen im Güterverkehr können sich sehr unterschiedlich auswirken. Bei der Modellierung besteht eine zentrale Anforderung daher darin, die jeweiligen Wirkungen durch passende Indikatoren wie Verkehrsmittelauslastung, Kostenstruktur, Routenwahl und Transportaufkommen adäquat abzubilden. Maßnahmen, die beispielsweise Auswirkungen auf die unmittelbaren Transportkosten (z.B. Wegekosten) haben, können im Modell sowohl eine Änderung der Verkehrsmittelwahl als auch die Wahl anderer Transportrouten nach sich ziehen. Demgegenüber werden Maßnahmen mit Wirkung auf den gesamten Logistikprozess durch optimierte Tourenmuster und Änderungen bei Leerfahrten und Auslastungen abgebildet.

Die in Renewbility verwendete makroskopische Modellierung gestattet die Eingabe von Daten aus empirischen Studien. Die Wirkungen von Maßnahmen können so hinsichtlich Transportweiten, Verkehrsmittel, Fahrzeugklassen und Wirtschaftsbranchen differenziert erstellt werden und erlauben spezifische Interpretationen.

Die Emissionen des Güterverkehrs werden durch die Fahrzeugflotte wesentlich beeinflusst. Daher wurde die Entwicklung der künftigen Lkw-Neuzulassungen für verschiedene Gewichtsklassen und Technologien mit Hilfe eines vergleichenden Wirtschaftlichkeitsmodells anhand der variablen und fixen Fahrzeugkosten abgeleitet.

DAS VERKEHRSANGEBOT

Um zu modellieren, wie sich das Verkehrsangebot entwickeln wird, ist eine transparente Datenbasis mit technischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien notwendig, die auch vorgelagerte Prozessketten (Produktion von Kraftstoffen und Fahrzeugen) einbezieht. Die Datenbasis bei Renewbility umfasst systematisch nicht nur konventionelle Antriebssysteme, sondern auch alternative Antriebs- und Kraftstofftechnologien und lässt damit ganzheitliche Bewertungen zu.

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

- » Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen
- » Reststoffen, Ressourcenbedarf und Flächeninanspruchnahme
- » Kosten- und Beschäftigungsbilanzen.

Für die Entwicklung des Verkehrsangebots ist das gesamte komplexe Gefüge der verschiedenen Rohstoffe und Primärenergien, deren Umwandlungswege zu Kraftstoffen und deren Nutzung in unterschiedlichen Fahrzeug- und Antriebssystemen maßgeblich.

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 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. Die Wissenschaftler haben in zusätzlichen Experten-Workshops intensive Diskurse vor allem über die Annahmen und Vorgaben für Pkw geführt. Neben konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (differenziert nach verschiedenen Effizienzstufen) wurden auch die alternativen Antriebsarten Erdgasmotor, H₂-Ottomotor, Brennstoffzelle, batterieelektrischer und Plug-In-Hybrid-Antrieb in die Datenbasis integriert.

Neben der Datenbasis für Fahrzeuge wurde auch eine stoffstrombezogene **Technologiedatenbasis** für die Bereitstellung von fossilen Energieträgern und für **Kraftstoffe** aus erneuerbaren Energien, insbesondere Biokraftstoffe, erstellt. Diese bildet jeweils die Angebotsseite (Potenziale, Treibhausgasemissionen, Kosten und Beschäftigungseffekte) ab für:

- » Biodiesel aus Raps und Palmöl sowie Bioethanol aus Mais, Weizen und Zuckerrohr
- » Biokraftstoffe der sogenannten 2. Generation (Ethanol aus Stroh und Mais sowie Diesel nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren – Biomass to Liquid, BTL – aus Waldrestholz und Holz von Kurzumtriebsplantagen)
- » Komprimiertes Biogas aus organischen Abfällen, Gülle, Mais und Zweikultursystemen sowie Synthesegas aus Waldrestholz und Holz von Kurzumtriebsplantagen
- » Importe von Bioethanol aus Brasilien, Palmöl aus Indonesien, Biogas und BTL aus Osteuropa
- » H₂-Importe aus Wasserkraft- und Solarstrom sowie Stromimporte aus solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa/ Nordafrika
- » Regenerativen Strom für Elektrofahrzeuge (aus Offshore-Windkraft und anteiligem Erdgas-GuD-Strom).

GIBT ES NUTZUNGSKONKURRENZEN?

Potenziale und Restriktionen alternativer Antriebe und Kraftstoffe

Die Einführung alternativer Kraftstoffe und Antriebssysteme wird im Wesentlichen durch zwei Parameter bestimmt: zum einen durch Verfügbarkeit und Kosten für Kraftstoffe, Fahrzeugtechnologien und Infrastruktur, zum anderen durch die Käuferakzeptanz. Daher wurden Potenzial- und Restriktionsanalysen erstellt und in Relation zum Energie- und Rohstoffbedarf gesetzt, um die Vor- und Nachteile alternativer Kraftstoffe und Fahrzeugkonzepte zu ermitteln.

Um Nutzungskonkurrenzen und negative Auswirkungen durch indirekte Landnutzungseffekte weitgehend auszuschließen, wurde im Klimaschutzszenario für die Bereitstellung biogener Kraftstoffe vor allem die Nutzung von Abfall- und Reststoffen sowie der Biomasseanbau auf degradierten Flächen vorausgesetzt.

STOFFSTROM-SZENARIEN AM RUNDEN TISCH

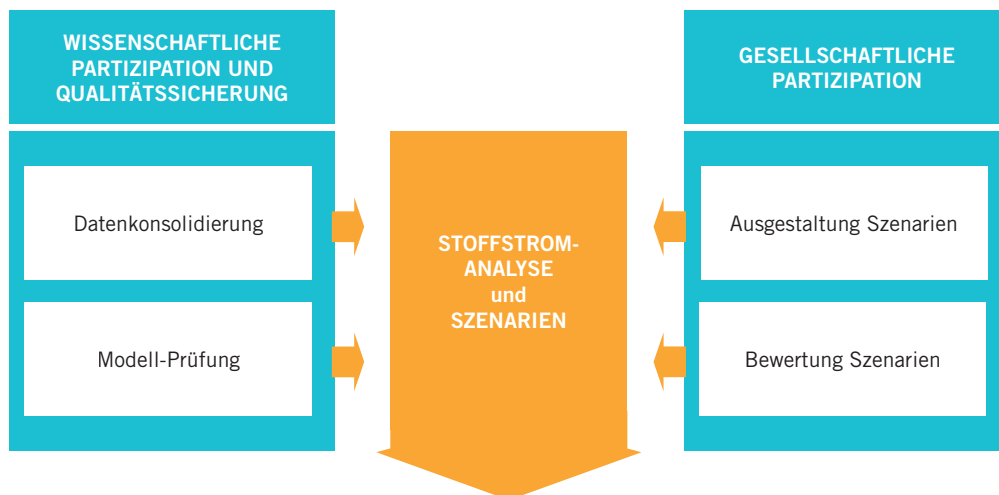
Die entwickelten Stoffstrom-Szenarien erlauben eine belastbare Abschätzung des Potenzials von Instrumenten und Maßnahmen zur Erreichung einer nachhaltigeren Mobilität. Dabei kann nach Personen- und Güterverkehr differenziert werden, und auch die Wechselwirkungen der Instrumente und Maßnahmen untereinander sind einbezogen³.

Eine solch komplexe Aufgabe erfordert die Partizipation unterschiedlichster Akteure. Bei Renewbility haben Vertreter aus Verkehrs- und Energiewirtschaft und Nicht-Regierungs-Organisationen ihre Positionen und Interessen im Bereich Mobilität eingebracht und diskutiert. Neben dem politischen Begleitkreis und der sogenannten

Szenario-Gruppe wurden Einzelexperten im Rahmen eines wissenschaftlichen Beirats und in Workshops zu ausgewählten Themen in die Konsolidierung der Datenbasis und die Qualitätssicherung des Forschungsprozesses einbezogen.

In Renewbility wurde erstmals ein solcher partizipativer Prozess mit der wissenschaftlichen Erarbeitung stoffstromorientierter Szenarien gekoppelt. Der zweijährige Arbeitsprozess führte zu einer weitgehenden Verständigung über Szenarioansatz, Datengrundlagen und Modellierungsformen sowie letztlich zu der gemeinsamen Definition explorativer Szenarien für den Verkehr.

Der partizipative Prozess bei Renewbility



³Es handelt sich nicht um energie- oder verkehrswirtschaftliche, sondern um stoffstromanalytische Modelle, mit denen die Treibhausgasemissionen und der Energieverbrauch quantifiziert werden. Dabei bleiben jedoch gesamtwirtschaftliche Auswirkungen unberücksichtigt, und auch einzelwirtschaftliche, wie z.B. die Konkurrenzfähigkeit bestimmter Branchen, und soziale Effekte wurden nicht untersucht.

ZUSAMMENFASSUNG

SZENARIO »KLIMASCHUTZ IM VERKEHR: PERSPEKTIVEN BIS 2030«

Der Verkehrssektor kann bis zum Jahr 2030 einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dafür müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, vor allem:

- » die Fahrzeugflotte umfasst künftig deutlich mehr effiziente und sparsamere Fahrzeuge
- » die Effizienz im Güterverkehr erhöht sich
- » das Angebot im Öffentlichen Verkehr wird erheblich ausgeweitet
- » die Flotte umfasst künftig einen spürbaren Anteil an Elektrofahrzeugen, die mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben werden
- » der Anteil nachhaltig bereitgestellter Biokraftstoffe im Kraftstoffmarkt wächst deutlich.

Zu diesem Ergebnis kommt das Verbundvorhaben »Renewbility – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030«. Im Rahmen von Renewbility haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Institutionen unter Leitung des Öko-Instituts Antworten darauf gesucht, wie der Personen- und Güterverkehr in Deutschland nachhaltiger und klimaschonender gestaltet werden kann. Berücksichtigt werden dabei nicht nur die direkt von den Verkehrsträgern emittierten Treibhausgase, sondern auch diejenigen Emissionen, die bei der Produktion von Kraftstoffen und Fahrzeugen entstehen.

Das im Rahmen von Renewbility entwickelte Modellinstrumentarium kommt zu dem Ergebnis, dass bis zum Jahr 2030 Minderungen der gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs um fast ein Viertel gegenüber 2005 möglich sind, wenn eine Reihe von politischen Maßnahmen und Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen (z.B. Ausweitung des Angebots im Öffentlichen Verkehr, Erhöhung der Lkw-Maut, steigende Kraftstoffpreise, Ausbau der Elektromobilität, Einsatz moderner Telematiksysteme) optimal zusammenwirken.

Güter- und Personenverkehr zeigen in diesem Szenario unterschiedlich große Minderungsbeiträge: Gegenüber 2005 kann im Personenverkehr bis 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um mehr als ein Drittel erreicht werden. Im Güterverkehr dagegen werden die Emissionen steigen, allerdings kann der zu erwartende Anstieg bis 2030 halbiert werden. Der große Unterschied in der Dynamik von Personen- und Güterverkehr legt damit nahe, getrennte politische Ziele für beide Bereiche zu definieren.

Eine wichtige Komponente für Klimaschutz im Verkehr sind nachhaltig bereitgestellte Biokraftstoffe. Im Rahmen von Renewbility wird ein Großteil der Biokraftstoffe aus biogenen Abfall- und Reststoffen hergestellt. Im Klimaschutzszenario dient Biomasse vorwiegend zur Strom- und Wärmebereitstellung, Biokraftstoffe werden entsprechend den EU-Zielen bzw. deren Fortschreibung berücksichtigt. Importe stammen vom Anbau auf degradierten Flächen. Unter diesen gesetzten Randbedingungen lassen sich Nutzungskonkurrenzen um Anbauflächen vermeiden.

Der Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehr (Biokraftstoffe und erneuerbarer Strom für Elektrofahrzeuge) führt bis zum Jahr 2030 dazu, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergiebedarf des Verkehrs von heute knapp 4% auf gut 16% wächst. Dies ist auch einer starken Effizienzsteigerung bei Fahrzeugen zu verdanken, die insgesamt eine Reduktion des Endenergiebedarfs im Verkehr bis 2030 um knapp 20% ermöglicht.

An Renewbility waren nicht nur Wissenschaftler, sondern auch Vertreter der Automobil-, Bahn-, Energie- und Logistikbranche sowie Nicht-Regierungs-Organisationen aus dem Umwelt- und Verbraucherbereich beteiligt. Sie alle haben ihre unterschiedlichen Positionen und Interessen im Bereich Mobilität eingebracht und diskutiert. Diese »Szenario-Gruppe« erarbeitete aus den unterschiedlichen Positionen der Beteiligten verschiedene Szenarien zu künftigen Entwicklungen im Verkehrsbereich. Das zentrale Szenario »Klimaschutz im Verkehr: Perspektiven bis 2030« hat zum Ziel, ambitionierten Klimaschutz durch einen möglichst großen Beitrag des Verkehrsbereichs zu sichern und zu fördern und die Nutzung der erneuerbaren Energien im Verkehr zu erhöhen.

Daher wurden im Rahmen dieses Szenarios Annahmen getroffen, die über die des Basisszenarios – das die bereits heute verabschiedeten politischen Maßnahmen berücksichtigt – deutlich hinausgehen. Die Akteure aus unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen waren zudem an der Diskussion zur Entwicklung des Instrumentariums beteiligt, mit dem die Modellierungen durchgeführt wurden.

Insgesamt zeigt das im großen Kreis erarbeitete Klimaschutzszenario mit dem im Rahmen von Renewbility entwickelten, integrativen Modellverbund, dass auch der Verkehrssektor einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

DAS PROJEKTTEAM

Forschungspartner



ÖKO-INSTITUT E.V.

Berlin / Darmstadt / Freiburg

Das Öko-Institut war für die Gesamtprojektleitung verantwortlich, sowie für den Aufbau der angebotsseitigen Technologiedatenbasis, die Stoffstromanalyse und die Szenarienbetrachtungen.

Ansprechpartner:

BÜRO BERLIN

Dr. Wiebke Zimmer, Christian Hochfeld
w.zimmer@oeko.de, c.hochfeld@oeko.de

BÜRO DARMSTADT

Uwe R. Fritsche
u.fritsche@oeko.de



DLR – INSTITUT FÜR VERKEHRSFORSCHUNG

Berlin

Das DLR-IVF war im Rahmen von Renewbility mit der Modellierung der Verkehrsnachfrage und den Szenarienbetrachtungen betraut.

Ansprechpartner:

Markus Mehlin, Prof. Dr. Barbara Lenz
markus.mehlin@dlr.de, barbara.lenz@dlr.de

Kooperierende Institute



INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG

Heidelberg

Das IFEU hat das Projekt mit der Bereitstellung von TREMOD-Daten und der Erarbeitung der Technologiedatenbasis bezüglich der übrigen Verkehrsträger unterstützt.

Ansprechpartner:

Wolfram Knörr
wolfram.knoerr@ifeu.de



DEUTSCHES BIOMASSE-FORSCHUNGSINSTITUT

(ehemals Institut für Energetik & Umwelt), Leipzig
Das DBFZ hat im Rahmen des Projektes einzelne Vorketten für Biokraftstoffe der 2. Generation beigetragen.

Ansprechpartner:

Dr. Daniela Thraen
daniela.thraen@ie-leipzig.de



TU DRESDEN

INSTITUT FÜR VERKEHRSSYSTEMTECHNIK

Die TU-Dresden hat für Renewbility die ÖPNV-Nachfrage modelliert.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Nachtigall
karl.nachtigall@tu-dresden.de

DIE SZENARIO-GRUPPE

Der Szenarioprozess wurde von einer festen Szenario-Gruppe begleitet, die sich im Verlauf des Forschungsvorhabens zwölf Mal traf. Dabei setzte sich die Szenario-Gruppe im Wesentlichen aus den Mitgliedern des politischen Begleitkreises zusammen. Die am Szenarioprozess beteiligten Institutionen und Personen waren:

- » ADAC e.V.: Michael Niedermeier
- » Bundesverband Bioenergie e.V. (BBE): Helmut Lamp
- » Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE): Björn Klusmann
- » Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND): Tilman Heuser
- » Dachser GmbH & Co KG: Dr. Andreas Froschmayer
- » Deutsche Bahn AG: Ulrich Ostermayer
- » Deutsche BP AG: Michael Brell, Enno Harks
- » Deutsche Post DHL: Dr. Winfried Häser, Christoph Selig
- » E.ON AG: Dr. Stefan Becker
- » Shell Deutschland: Dr. Jörg Adolf
- » Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD): Gerd Lottsiepen, Michael Müller-Görnert
- » Verband der Automobilindustrie (VDA)

In den politischen Begleitkreis waren darüber hinausgehend auch Vertreter von Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) und Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) eingebunden.

DER WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT

Zusätzlich zur gesellschaftlichen Partizipation wurden mit dem wissenschaftlichen Beirat die Modellfunktionalitäten, die Datenbasis und die Ergebnisse in sechs Sitzungen intensiv diskutiert. Dieser setzte sich zusammen aus den folgenden Wissenschaftlern:

- » Deutsches Institut für Urbanistik: Tilman Bracher
- » Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Dr. Uwe Kunert
- » FEV Motorenteknik Aachen: Prof. Dr. Stefan Pischinger, Dr. Gerhard Lepperhoff
- » RWTH Aachen/Deutsches Institut für Urbanistik: Prof. Dr. Klaus J. Beckmann
- » Umweltbundesamt: Dr. Harry Lehmann
- » Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung: Dr. Weert Canzler
- » Wuppertal Institut: Dr. Manfred Fishedick

DER FÖRDERER

Das Forschungsvorhaben wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert und abteilungsübergreifend durch die folgenden Referate fachlich begleitet:

- » Referat IG I 5 »Umwelt und Verkehr«
- » Referat KI III 1 »Allgemeine und grundsätzliche Angelegenheiten der Erneuerbaren Energien«

FORSCHUNGSPARTNER



Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit**