

Markus Mehlin / Wiebke Zimmer

# Ein Weg für klimagerechte Mobilität?

Das Forschungsprojekt Renewbility

**Angesichts des fortschreitenden Klimawandels** sind deutliche Minderungen der Treibhausgasemissionen in naher Zukunft zwingend erforderlich. Im Verkehrssektor stellen die notwendigen Reduktionen angesichts des erwarteten Anstiegs des Verkehrsaufkommens eine besondere Herausforderung dar. Wie können wir in Deutschland in Zukunft Mobilität für alle gewährleisten und gleichzeitig die Treibhausgasemissionen deutlich mindern? Diese Frage wurde im Rahmen des Projektes Renewbility gestellt, das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert wurde.

## Konzeption und Ziele von Renewbility

Das Verbundvorhaben Renewbility – nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030 – hatte zum Ziel, ein in mehrfacher Hinsicht integratives Analyseinstrumentarium zu entwickeln, das Maßnahmen und Wirkungen einer zukünftigen nachhaltigen Verkehrspolitik abbildet und Minderungspotenziale quantifiziert. Wesentliche Neuerungen des integrativen Modellierungsansatzes waren die gekoppelte, dynamische Betrachtung von Mobilitätsangebot und -nachfrage und die Modellierung des Mobilitätsverhaltens im Personenver-

### Die Autoren

Dr. **Wiebke Zimmer** (Projektleitung), Öko-Institut e.V., Bereich Infrastruktur & Unternehmen, Novalisstraße 10, 10115 Berlin, w.zimmer@oeko.de;  
**Markus Mehlin**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin, markus.mehlin@dlr.de

kehr auf Mikroebene für drei beispielhafte Regionen. Ferner wurden in Renewbility dezidiert die Wechselwirkungen zwischen

Verkehrs- und Energiesektor im Hinblick auf die Förderung erneuerbarer Energien berücksichtigt sowie eine enge Kooperation mit gesellschaftlichen Akteuren bei der Modell- und Szenarioentwicklung realisiert.

Betrachtet wurden der innerdeutsche Straßen-, Schienen-, Binnenschiff- und Luftverkehr. 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.

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.

Das Kernteam des Vorhabens bildeten das Öko-Institut (Projektleitung) und das Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt; weitere wissenschaftliche Partner (IFEU, DBFZ, TU Dresden) haben das Projekt unterstützt.

## Modell- und Szenarienentwicklung

### Stoffstromanalyse

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

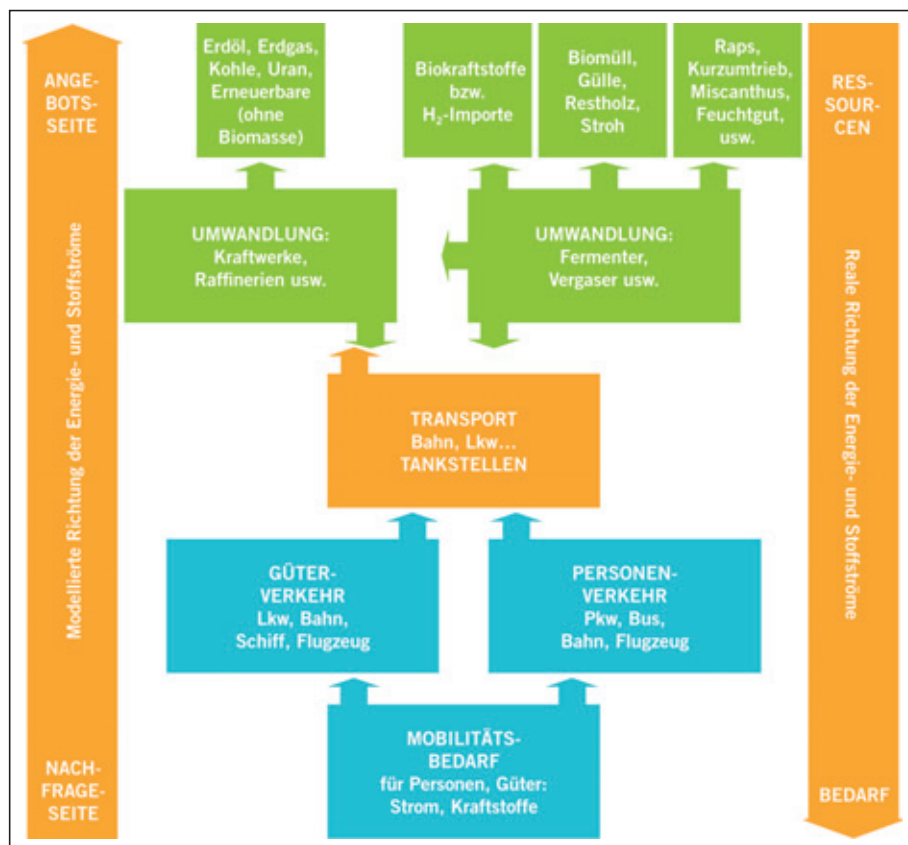


Abb. 1: Energie- und Stoffströme: die wesentlichen Prozessketten der Stoffstromanalyse

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.

**Die Modellierung der Verkehrsnachfrage**

Maßgeblich für die Stoffstromanalyse ist die Verkehrsnachfrage für die einzelnen Verkehrsmittel, die sich aus dem Mobilitätsbedürfnis der Menschen und dem Bedarf an Gütertransporten ergibt. Sie wird in Abhängigkeit von den in den Szenarien angewendeten Maßnahmen bestimmt. Hierzu wurden verschiedene Verkehrsmodelle fortentwickelt, die den zukünftigen Verkehr für die grundlegenden Raumtypen in Deutschland sowie für unterschiedliche Verkehrs- bzw. Fahrzeugarten (Straße, Schiene, Schiff und Flugzeug) simulieren.

Um das Potenzial zur Veränderung der Personenverkehrsnachfrage durch Maßnahmen und Technologien möglichst realitätsnah abzubilden, wurde für Renewbility das Nachfragemodell TAPAS<sup>1</sup> gewählt, das auf früheren Projekten des DLR basiert und unterschiedliches Verkehrsverhalten von Bevölkerungsgruppen dezidiert berücksichtigt. Dies geschieht durch die sogenannte „mikroskopische Modellierung“, die das Verhalten von typisierten Einzelpersonen simuliert. Damit können nicht nur Verhaltensunterschiede zwischen Personengruppen, sondern auch die unterschiedliche Maßnahmensensitivität in Abhängigkeit von den Randbedingungen reproduziert werden. Da Verkehrsverhalten auch abhängig von räumlichen Gegebenheiten ist, wurden neben den individuellen Eigenschaften der betrachteten Personentypen auch drei Raumtypen (ländlich, verdichtet und hoch verdichtet) berücksichtigt, in denen diese Personentypen leben und arbeiten. Das eingesetzte Modell ist ein aktorszentriertes, aktivitätsbasiertes Simulationsmodell, das Verkehrsverhalten als Ergebnis von Aktivitätsmustern interpretiert und abbildet. Es modelliert das Verkehrsaufkommen, indem quasi für jeden Einwohner einer Stadt oder Region die Verkehrsnachfrage bestimmt wird. Die zugrunde liegende „synthetische Bevölkerung“ wurde zur möglichst realitätsnahen Beschreibung der Bevölkerung aus unterschiedlichen Datenquellen zu sozioökonomischen Personenmerkmalen erstellt. Über die Abbildung der Orte, an denen Aktivitäten ausgeübt werden können, und ein Modul zur Verkehrsmittelwahl werden die Ortsveränderungen der einzelnen Per-

sonentypen entsprechend ihrem jeweiligen Aktivitätenmuster im Modell erzeugt.

Die in Renewbility verwendete makroskopische Modellierung im Güterverkehr gestattete es, beispielsweise Maßnahmen, welche die unmittelbaren Transportkosten (z.B. Wegekosten) betreffen, sowohl mit Hilfe der Elastizitäten der Verkehrsmittelwahl als auch der Reaktionen bei der Routenwahl zu simulieren. Demgegenüber wurden Maßnahmen, die sich auf den gesamten Logistikprozess auswirken, durch Veränderungen der Häufigkeiten von Tourenmustern, Leerfahrten und Auslastungen abgebildet. Entsprechende Auswirkungen wurden durch Eingabegrößen im Modell abgebildet, die aus empirischen Studien abgeleitet wurden. Das Endergebnis konnte so hinsichtlich Transportweiten, Verkehrsmittel, Fahrzeugklassen und Wirtschaftszweigen differenziert erstellt werden.

**Die Technologiedatenbasis Fahrzeuge und Kraftstoffe**

Das verkehrsseitige Angebot wurde ebenfalls in Szenarien abgebildet. Dazu diente unter anderem eine umfassende Datenbasis zu technischen, ökonomischen und Emissions-Daten, die auch vorgelagerte Prozessketten (Kraftstoff- und Energievorketten sowie die Herstellung der Fahrzeuge) einbezieht. Die Datenbasis bei Renewbility umfasst alle relevanten Verkehrsträger und Fahrzeuggrößenklassen und berücksichtigt neben konventionellen Antriebssystemen auch alternative Antriebs- und Kraftstofftechnologien (vgl. RENEW 2009a). Die Daten wurden im Stoffstrommodell GEMIS<sup>2</sup> hinterlegt. GEMIS ist ein Prozesskettenmodell, das die Bilanzierung von kompletten Produktlebenszyklen erlaubt. Es liefert Ergebnisse zu:

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

Auf der Angebotsseite wurde in Renewbility das gesamte Gefüge der eingesetzten

verschiedenen Rohstoffe und Primärenergien, deren Umwandlungswege zu Kraftstoffen und deren Nutzung in unterschiedlichen Fahrzeug- und Antriebssystemen einbezogen.

**Stoffstrom-Szenarien mit Akteurseinbezug**

Mittels einer Kopplung der einzelnen EDV-Modelle konnten dann dynamische Szenarien dargestellt werden, welche die Entwicklungen sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite der Mobilität unter besonderer Berücksichtigung regenerativer Energien und der Nutzungskonkurrenz zu anderen Sektoren reflektieren. Der Blick ging dabei vom Basisjahr 2005 bis ins Jahr 2030.

Damit sind realistische Potenzialabschätzungen von Instrumenten und Maßnahmen für eine nachhaltigere Mobilität differenziert für die relevanten Segmente der Verkehrsnachfrage im Bereich des Personen- und Güterverkehrs möglich, wobei gleichzeitig die Interdependenzen der Instrumente und Maßnahmen im Verkehrssektor untereinander abgebildet werden können. Es handelt sich damit nicht um eine wirtschaftliche, sondern stoffstromanalytische Modellbetrachtung, mit der, neben anderen Parametern, vor allem Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch im Verkehrssektor unter Berücksichtigung von Änderungen auf Nachfrage- und Angebotsseite quantifiziert werden können.

Im Projekt Renewbility wurde erstmals ein partizipativer Prozess mit der wissenschaftlichen Erarbeitung stoffstromorientierter Szenarien gekoppelt. Durch die Beteiligung von Stakeholdern aus dem Bereich Mobilität gingen auf Basis eines diskursiven Prozesses unterschiedliche Positionen und Interessen in die Gestaltung der Szenarien ein. Dies wurde über die Beteiligung eines politischen Begleitkreises und einer sich aus dessen Mitgliedern zusammensetzenden Szenario-Gruppe gewährleistet. Parallel wurden Fachexperten im Rahmen eines wissenschaftlichen Beirats und thematischen Workshops zu



Abb. 2: Die Modellierung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr

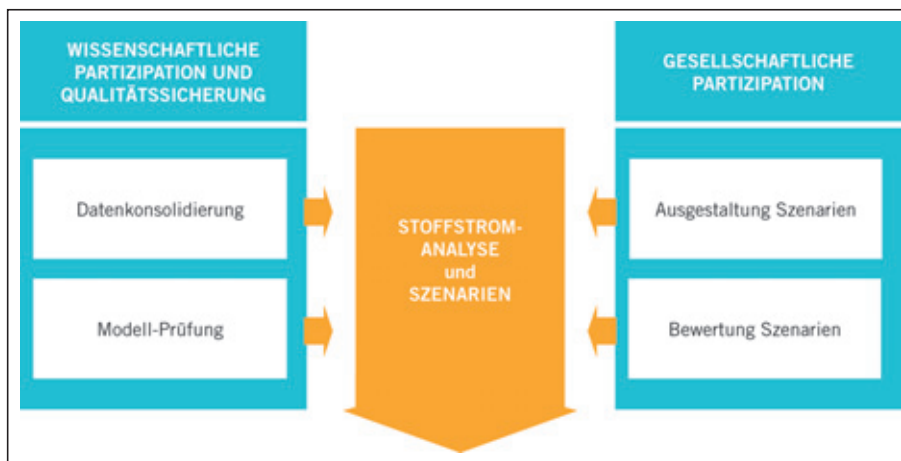


Abb. 3: Der partizipative Prozess bei Renewbility

ausgewählten Themen in die Konsolidierung der Datenbasis und die Qualitätssicherung der angewandten Methoden und des Forschungsprozesses insgesamt einbezogen.

**Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ – Annahmen und Maßnahmen**

Über den partizipativen Prozess war eine feste Gruppe aus Vertretern der Automobil-, Bahn-, Energie- und Logistikbranche sowie Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden<sup>3</sup> maßgeblich in die Modell- und Szenarienentwicklung einbezogen. In einem Zeitraum von etwa zwei Jahren hat sich die Szenario-Gruppe zwölf Mal getroffen und intensiv in das Forschungsvorhaben eingebracht.

Zunächst wurden in diesem Rahmen die Teilmodelle und die Technologiedatenbasis seitens der Forschungsnehmer vorgestellt und im Kreise der Stakeholder diskutiert. In einem zweiten Schritt wurde dann 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. Das Basisszenario stellt damit keine klassische Trendprojektion dar, sondern nimmt bereits spürbare Veränderungen im Mobilitäts- und Energiesektor insgesamt an. Es dient im Rahmen von Renewbility 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 (BVU & Intraplan Consult 2007) und dem Leitszenario 2008 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU 2008). Ausgehend von der Entwicklung in der Verkehrsprognose steigt damit 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 2005.

Basierend auf Ergebnissen verschiedener analytischer Szenarien erfolgte im Kreis der Szenario-Gruppe eine eingehende Diskussion der Funktionalität des Analyseinstrumentariums und der Wirkungsweise und -mächtigkeit von unterschiedlichen Maßnahmen. Auf Basis dieser Analysen gelang es im Projektverlauf, ein konsistentes Bündel von Annahmen und Maßnahmen abzuleiten. Maßgabe hierbei war es, zusätzlich zum Basisszenario weitere Handlungsoptionen für den Klimaschutz im Verkehrssektor zu identifizieren und in ein schlüssiges Nachhaltigkeitsszenario („Klimaschutz im Verkehr“) – unter Einbeziehung von Strom und Wärme – für Deutschland zu integrieren. Die Annahmen und Maßnahmen, die diesem Klimaschutzszenario zugrunde liegen, sind im Einzelnen:

**Ausweitung des Angebots im Öffentlichen Verkehr**

Das Angebot im Öffentlichen Verkehr wird deutlich ausgeweitet. Die Umsetzung berücksichtigt regionalspezifische Unterschiede und sieht eine maximale Erhöhung der Betriebsleistung von rund 25 % vor. Die Bus- und Straßenbahnnetze wurden dabei mittels des Liniennetzoptimierungsprogramms LINOP der Professur für Verkehrsströmungslehre der TU Dresden vor dem Hintergrund der vom DLR vorgegebenen Verkehrsnachfragen iterativ optimiert (vgl. RENEW 2009a). Schnellbahnnetze wurden über Linienführung und Takt den Gegebenheiten der Szenarien angepasst. Mit der Betriebsleistungserhöhung und Beschleunigungsmaßnahmen bezüglich der Fahrzeit konnten im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ die komplexen Reisezeiten (von Tür zu Tür) um 15 bis 30 % gesenkt werden. Auch die durchschnittliche Anzahl der Umsteigevorgänge verringerte sich um 13 bis 29 % bezüglich der heutigen Ist-Netze. Besonders positiv auf die Fahrzeiten wirken sich die Beschleunigungsmaßnahmen aus. Hierbei wurde im Szenario davon ausgegangen, dass im Bereich Bus und Straßenbahn Ampelvorrangschaltungen flächendeckend zum Einsatz kommen.

**CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert für Pkw**

Für Pkw werden die CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für 2030 mit 80 g/km fortgeschrieben, wobei die Anteile der verschiedenen Pkw-Größenklassen aus dem Basisszenario übernommen wurden. Für leichte Nutzfahrzeuge werden CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte von 100 g/km in 2030 festgesetzt. Der CO<sub>2</sub>-Grenzwert ist als gewichtsbezogener Flottengrenzwert konzipiert. Für die in der Technologiedatenbasis enthaltenen Fahrzeuge kann bestimmt werden, ob sie als Einzelfahrzeug den Grenzwert einhalten oder nicht. Die eventuell fällige Straf-abgabe kann ebenfalls ermittelt werden. Die Konzeption als Flottengrenzwerte lässt allerdings auch zu, dass Fahrzeuge eines Herstellers den Grenzwert überschreiten, jedoch keine Abgabe bezahlt werden muss, weil der Hersteller die Überschreitung durch andere Fahrzeuge ausgleichen kann, die entsprechend unterhalb ihres Grenzwertes bleiben.

**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 aus erneuerbaren Energien bereitgestellt. Mit den in der Technologiedatenbasis definierten rein elektrischen Fahrzeugen (BEV) und Plug-in Hybridfahrzeugen (PHEV) wurde zunächst das generelle Potenzial anhand der MiD 2002 ermittelt. Die Auswertung ergab ein theoretisches Rahmenpotenzial von ca. 14 % des Pkw-Bestands für BEV und ca. 75 % für PHEV. Dabei wurden die Kriterien Reichweite, Stellplatzverfügbarkeit und Haushaltseinkommen berücksichtigt. Auf dieses Rahmenpotenzial wurden historische Diffusionsraten für technische Innovationen im Automobilssektor angewendet. Hier wurde von etwa 10 bis 20 Jahren Dauer ausgegangen, bis ein Marktanteil von 5 % erreicht wird bzw. von maximalen Wachstumsraten von 15 % p.a. (MIT 2006). Dieses zweistufige Verfahren ergab für Renewbility Neuzulassungsanteile von 1,1 % BEV und 6,0 % PHEV in 2020 und 3,4 % BEV und 18,8 % PHEV in 2030.

**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 EUR<sub>2005</sub> 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/Diesellokraftstoff verschiebt und Diesellokraftstoff im Jahr 2030 mit 2,55 EUR<sub>2005</sub>/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.

### Umstellung der Kfz-Steuer für Lkw

Die Bezugsgröße der Kfz-Steuer für Lkw wird ab 2020 auf CO<sub>2</sub>-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. In der Modellierung der Lkw-Neuzulassungen werden die Kfz-Steuern als fixe Betriebskosten berücksichtigt. Sie gehen direkt in den Wirtschaftlichkeitsvergleich von Effizienzvarianten der einzelnen Fahrzeugklassen ein.

### Optimierung der Logistik

Durch eine Optimierung von Logistikstrukturen (z. B. einer Zunahme der Kontraktlogistik durch das Auslagern von Werkverkehr, einer optimierten Routenwahl, einer Zunahme des Marktanteils effizienter Speditionsnetzwerke) und einer besseren Bündelung von Warenströmen durch den Einsatz moderner Dispositions- und Telematiksysteme kann die Fahrzeugauslastung erhöht und der Leerfahrtenanteil im Güterverkehr verringert werden. Eine Komponente ist dabei beispielsweise die Erhöhung der Auslastung von Systemverkehren innerhalb der bundesweiten oder europäischen Speditionsnetzwerke infolge der Zunahme von Stückgütern im Transportmarkt. Auch die Nutzung von IT-Lösungen für das Flottenmanagement, das Tracking und Tracing von Lkw oder eine auftragsbezogene dynamische Routenplanung und Vergabe von Zeitfenstern für Laderampen tragen dazu bei, die durchschnittlichen Auslastungen von Lkw zu erhöhen und Leerfahrtanteile weiter zu minimieren.

### Kraftstoffsparende Fahrweise

Eine Verbreitung von verbrauchsarmer Fahrweise wird erreicht durch die Ausgabe von Gutscheinen für Sprit-Spar-Trainings beim Kauf eines Neuwagens, den flächen-

deckenden Einsatz von Schaltanzeigen im Fahrzeug, günstigere Versicherungsprämien für Absolventen eines Spritspartrainings und die Aufnahme entsprechender Richtlinien für den öffentlichen Dienst. Für Pkw wird eine langfristige Minderung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs um 10 % in Anlehnung an UBA (2003) angenommen. Der Anteil an kraftstoffsparenden Fahrten steigt auf 50 % in 2030 an und wird auf die Fahrleistung bezogen. Bei den Lkw sind die spezifischen Minderungsraten etwas niedriger, dafür wird der Umsetzungsgrad höher angesetzt, da sich gezeigt hat, dass gerade in Fahrzeugflotten eher Spritspartrainings mit anschließendem Monitoring durchgeführt werden.

### 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. 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 2004) wurden die Fahrsituationen auf Bundesautobahnen mit einem hohen Stauanteil identifiziert und deren Anteil am Emissionsfaktor für den Autobahnanteil entsprechend reduziert.

### 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 EUR<sub>2005</sub>/km. Fahrzeuge, die eine Kraftstoffersparnis von 25 % (2020) bzw. 30 % (2030) gegenüber dem Durchschnittsverbrauch im Jahr 2005 aufweisen, erhalten einen Mautbonus von 0,10 EUR<sub>2005</sub>/km. In der Nachfragemodellierung kommt es infolgedessen zu einer Erhöhung der Transportkosten auf der Straße, die eine Modal Split-Veränderung nach sich zieht. Gleichzeitig beeinflusst eine Mauterhöhung im Modell die Routenwahl sowohl der mautpflichtigen als auch der nicht-mautpflichtigen Lkw. Die Routenwahl als ein Ergebnis der Betrachtung von Kosten und Zeit bewirkt so eine Verschiebung der Fahrleistung zwischen den Fahrzeugklassen.

### Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ – Ergebnisse

Um die Klimarelevanz des Verkehrssektors zu analysieren und zu bewerten und die Wirkung von Maßnahmen beurteilen zu können, 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 Renewability 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.

Das in der Szenario-Gruppe erarbeitete Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ zeigt, dass bis zum Jahr 2030 Minderungen der gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs um fast ein Viertel gegenüber 2005 möglich sind, wenn die hinterlegten politischen Maßnahmen und Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen optimal zusammenwirken. Im Basisszenario bleiben die Treibhausgasemissionen des Verkehrs verglichen mit dem Basisjahr 2005 trotz zunehmender Fahrleistung aufgrund effizienterer Fahrzeuge und steigendem Anteil von Biokraftstoffen noch nahezu konstant (*Abbildung 4*). Mit dem ausgewählten Bündel von Maßnahmen und Annahmen für künftige Rahmenbedingungen können die Emissionen bis 2030 aber um 52 Mio. t auf 174 Mio. t gesenkt werden. Dies entspricht einer Minderung um 23 % gegenüber dem Basisjahr 2005.

### Personenverkehr

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 Emissionsminderung bei gleichzeitig steigender Verkehrsleistung ist zum einen auf effizientere Pkw, die durch den Flottengrenzwert ab 2012 verstärkt in den Markt kommen, zum anderen auf den wachsenden Anteil von Biokraftstoffen zurückzuführen. Das Bündel von Annahmen und Maßnahmen, das die Szenario-Gruppe erarbeitet hat, kann darüber hinaus noch deutlich höhere Minderungspotenziale ausschöpfen. Die Reduktion der Treibhausgase summiert sich im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ auf 63 Mio. t bzw. 36 % bezogen auf das Jahr 2005.

Verbrauchsarme Fahrzeuge machen den motorisierten Individualverkehr bei konstanten Kraftstoffpreisen wirtschaftlicher und somit attraktiver. Im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ werden daher mögliche ökologisch negative Rebound-Effekte – vor allem ein Anstieg der Verkehrsleistung – durch die angenommene Erhöhung der Kraftstoffpreise auf 2,50 EUR<sub>2005</sub>/Liter Benzin bzw. 2,55 EUR<sub>2005</sub>/Liter Diesel verhindert. Blieben die Kraftstoffpreise im Jahr 2030 dagegen auf dem Niveau des Basisszenarios (1,65 bzw. 1,47 EUR<sub>2005</sub>/Liter) und würde sich die Pkw-Effizienz gemäß dem Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ entwickeln, würde die Fahrleistung von 633 Mrd. auf 691 Mrd. Fahrzeugkilometer deutlich steigen und somit selbst der Wert des Basisszenarios in 2030 übertroffen werden. Das Modellierungsergebnis zeigt

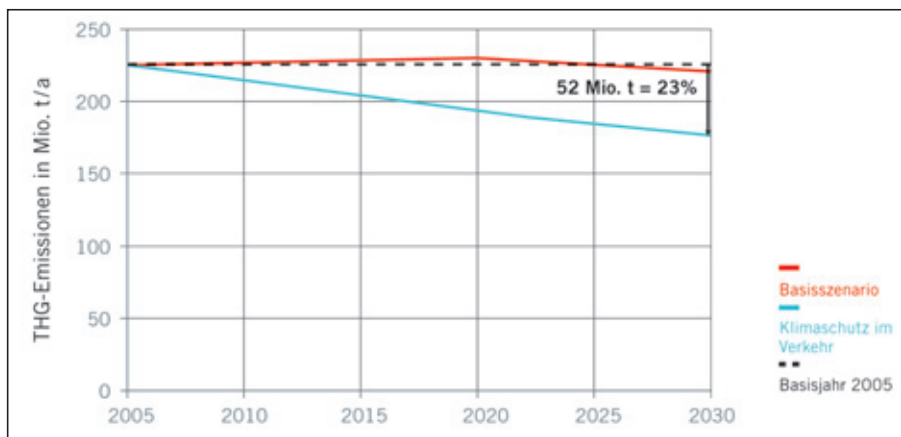


Abb. 4: Treibhausgasemissionen (direkt, indirekt und Materialvorleistungen) des Verkehrs bis zum Jahr 2030 im Basisszenario und im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ (RENEW 2009b)

damit, dass begleitende Maßnahmen zur Verhinderung des Anstiegs der Fahrleistungen notwendig sein dürften, um tatsächlich die – durch die Einführung effizienterer Pkw – verfolgte Treibhausgasemission zu erreichen. Dieses Beispiel zeigt auf, welche Bedeutung der Berücksichtigung von Rebound-Effekten bereits bei der Konzeption geeigneter Maßnahmenbündel beigegeben werden sollte.

Dass die Ausgestaltung der Maßnahmen stets vor dem Hintergrund der konkreten Raumstruktur erfolgen sollte, zeigt sich deutlich am Beispiel der ÖPNV-Förderung. Denn die zu erzielende Attraktivitätssteigerung ist maßgeblich abhängig von der Ausgangssituation. In den Agglomerationsräumen (wie beispielsweise Berlin oder Hamburg), welche bereits über ein gut ausgebautes ÖPNV-Angebot verfügen, sind substantielle Verbesserungen und damit einhergehend Modal Split-Änderungen nur noch schwierig zu erzielen. Weiterhin zeigen die Ergebnisse für den ländlichen Raum, dass selbst eine umfangreiche Angebotsverbesserung bei einem niedrigen Ausgangsniveau keine ernstzunehmende Alternative zum motorisierten Individualverkehr darstellt und daher nur geringe Verlagerungseffekte bewirkt. Die größten Potenziale zeigen sich bei der Modellierung des verdichteten Raumes (Beispiel Braunschweig). Basierend auf einer guten Grundversorgung konnten hier die größten Zuwächse bei der Nutzung des ÖPNV erzielt werden. Gleichzeitig konnte auch gezeigt werden, dass Preisänderungen im

motorisierten Individualverkehr nur dann zu signifikanten Verlagerungseffekten auf andere Verkehrsträger führen, wenn attraktive Alternativen, wie beispielsweise ein umfangreiches ÖPNV-Angebot, zur Verfügung stehen.

#### Güterverkehr

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 wie Effizienztechnologien, Erhöhung der Lkw-Maut und Logistikoptimierung um rund 35 % gegenüber dem Basisjahr 2005 ab – insgesamt steigen die Emissionen jedoch wegen der starken Zuwächse in der Transportleistung an. Auch bleibt der Lkw trotz einer leichten Verschiebung hin zu Bahn und Binnenschiff unter den getroffenen Annahmen weiterhin das dominante Güterverkehrsmittel.

#### Erneuerbare Energien im Verkehr

Eine wichtige Komponente für den Klimaschutz im Verkehr sind nachhaltig bereitgestellte Biokraftstoffe. Im Rahmen von

Renewability wird ein Großteil der eingesetzten Biokraftstoffe aus biogenen Abfall- und Reststoffen hergestellt. Im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ dient Biomasse vorwiegend zur Strom- und Wärmebereitstellung, Biokraftstoffe werden gemäß den EU-Zielen bzw. deren Fortschreibung berücksichtigt und es wird angenommen, dass Importe aus dem Anbau auf degradierten Flächen stammen. Nur unter diesen gesetzten Randbedingungen lassen sich Nutzungskonkurrenzen um Anbauflächen vermeiden.

Im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ werden Elektrofahrzeuge ausschließlich mit Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energien betrieben. Der durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen bedingte zusätzliche Strombedarf an erneuerbaren Energien bei einem Bestandsanteil von etwa 10 % elektrisch betriebenen Pkw im Jahr 2030 beträgt rund 10 TWh und erfordert damit nur einen vergleichsweise geringen zusätzlichen Strombedarf aus erneuerbaren Energien über das Leitszenario des BMU hinaus.

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 % ansteigt. Dies ist auch in einer starken Effizienzsteigerung bei Fahrzeugen begründet, die insgesamt eine Minderung des Endenergiebedarfs des Verkehrssektors bis 2030 um knapp 20 % ermöglicht.

#### Ein Weg für klimagerechte Mobilität?

Die dargestellten Ergebnisse des Szenarios „Klimaschutz im Verkehr“ beschreiben einen durchaus möglichen und plausiblen Entwicklungspfad innerhalb der Modellgrenzen. Verglichen mit dem Basisszenario basieren sie auf zusätzlichen Annahmen und Maßnahmen. Gleichwohl stellt sich angesichts der Herausforderungen im Klimaschutz die Frage, ob weitere Maßnahmen bzw. geänderte Grundannahmen zur zukünftigen Entwicklung denkbar sind, die zu einer weiteren Minderung der Treibhausgasemissionen im Verkehr führen können.

So wird in diesem Szenario von einem anhaltenden Wirtschaftswachstum, entsprechend steigenden Einkommen und unveränderten anteiligen Mobilitätsausgaben ausgegangen. Längerfristige Veränderungen der Siedlungsstruktur, die Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten haben, wurden nicht abgebildet. Ähnliches gilt für den Güterverkehr. Da in der Szenarienbetrachtung keine Veränderung der wirtschaftlichen Rahmendaten angenommen wurde, orientieren sich das Güterverkehrsaufkommen und die Transportleistung an den Angaben der Verkehrsprognose 2025 des Bundesverkehrsministeriums. Vor dem Hintergrund der aktuellen Wirtschaftskrise stellt sich aber durchaus die Frage, ob nicht zukünftig auch andere als die im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ angenomme-

### Direkte Treibhausgasemissionen

## Einordnung in das nationale Klimaschutzziel

Werden nur die direkten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors betrachtet, wie sie in der nationalen und internationalen Klimaberichterstattung dokumentiert werden, so ergeben sich für das Klimaschutzzszenario Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 131 Mio. t in 2020 und von rund 115 Mio. t in 2030. Im Jahr 1990 betragen die direkten Treib-

hausgasemissionen des Verkehrssektors 160 Mio. t, im Jahr 2005 161 Mio. t. 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.



nen Entwicklungspfade realistisch sind; Entwicklungen also, die mit einem geringeren Anstieg der Transportleistung einhergehen. Auch sind weiterführende Maßnahmen denkbar, die einen Einfluss auf die Transportleistung und damit in Konsequenz auch auf die Treibhausgasemissionen im Güterverkehr haben. Denn würde sich beispielsweise die Transportleistung des Güterverkehrs im Jahr 2030 durch veränderte Rahmenbedingungen oder weitere Maßnahmen auf dem Niveau des Jahres 2005 stabilisieren, läge die Minderung der Treibhausgasemissionen bei den im Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ betrachteten Annahmen und Maßnahmen bei 35 %.

Auch wurden im Rahmen des Szenarios „Klimaschutz im Verkehr“ weitere Varianten modelliert, in denen einzelne geänderte bzw. zusätzliche Annahmen – z. B. bezüglich Fahrzeugkonfigurationen, Kraftstoffzusammensetzung und -preisentwicklung, fiskalischer oder ordnungspolitischer Maßnahmen – zugrunde gelegt wurden, und die einen weiteren Ansatzpunkt für zusätzliche Minderungspotenziale darstellen (vgl. RENEW 2009b).

### Fazit

Das Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ wurde unter Beteiligung von gesellschaftlichen Akteuren in Form eines Bündels von Maßnahmen und Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen erarbeitet. Die Maßnahmen reichen vom Ausbau des ÖPNV und der Elektromobilität, über eine Fortschreibung der CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für Pkw auf 80 g/km im Jahr 2030 bis hin zu einer Erhöhung von LKW-Maut und Kraftstoffpreisen. Bis 2030 könnten damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 226 Mio. t auf 174 Mio. t gesenkt werden – trotz ähnlicher Verkehrsentwicklung wie im Basisszenario. Bis 2030 sind damit Minderungen der Treibhausgasemissionen um 23 % gegenüber 2005 möglich, wenn die vorgeschlagenen Annahmen und Maßnahmen zusammenwirken. Auffällig ist die sehr unterschiedliche Dynamik im Personen- und Güterverkehr: Während im Personenverkehr die Treibhausgasemissionen ein Minderungspotenzial von 36 % bis 2030 aufzeigen, kann im Güterverkehr lediglich der erwartete Anstieg der Emissionen halbiert werden. Auch zeigt sich deutlich, dass die Wechselwirkungen von verschiedenen

Maßnahmen und Entwicklungen, wie beispielsweise besonders effiziente Fahrzeuge und Kraftstoffpreise, bei der Ausgestaltung von Maßnahmenbündeln berücksichtigt werden müssen, um kontraproduktive Effekte zu vermeiden. Der Gesamtenergiebedarf im Verkehr kann in dem Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ bei einem gleichzeitigen Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien im Verkehr von 4 % auf 16 % um 20 % bis 2030 reduziert werden.

Die im Stakeholder-Szenario „Klimaschutz im Verkehr“ aufgezeigten Potenziale für den Klimaschutz und der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehrssektor sind mit verkehrspolitisch ambitionierten Maßnahmen und Annahmen verbunden, zeigen aber auch deutliche Minderungsoptionen auf. Vor dem Hintergrund der Erfordernisse des Klimaschutzes sollte aber auch die Frage gestellt werden, ob weitere bzw. weitergehende Maßnahmen nicht zusätzlich notwendig sind, um dem Ziel der Bundesregierung, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % zu senken, gerecht zu werden. Mit dem im Rahmen des Projekts Renewbility entwickelten Modellverbund steht nun ein Instrument zur Verfügung, um entsprechende Maßnahmen zu analysieren und gegebenenfalls auch weitere Minderungspotenziale aufzuzeigen. Weitere Informationen finden sich unter [www.renewbility.de](http://www.renewbility.de).

<sup>1</sup> Travel Activity Pattern Simulation

<sup>2</sup> Globales Emissionsmodell integrierter Systeme, [www.gemis.de](http://www.gemis.de)

<sup>3</sup> Die Szenario-Gruppe setzte sich aus Mitgliedern der folgenden Institutionen zusammen: ADAC e.V., Bundesverband Bioenergie e.V. (BBE), Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Dachser GmbH & Co KG, Deutsche Bahn AG, Deutsche BP AG, Deutsche Post DHL, E.ON AG, Shell Deutschland, Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD), Verband der Automobilindustrie (VDA).

### Literatur

BMU (2008): Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, „Leitstudie 2008“, Dr. Joachim Nitsch, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 2008

BVU, Intraplan Consult (2007): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. München, Freiburg. Gutachten im Auftrag des BMVBS.

HBEFA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1. im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin und Wien und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft Berlin. Bern/Berlin/Wien 2004

MID (2002): Mobilität in Deutschland: Ergebnisbericht. Projekt-Nr. 70.0736/2003, Bundesministerium Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.

MIT (2006): Massachusetts Institute of Technology – Laboratory for Energy and the Environment; Kromer, M. A. & Heywood, J. B.: Electric Powertrains – Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet. Cambridge 2007

RENEW (2009a): Renewbility – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Teil 1: Methodik und Datenbasis. Öko-Institut; DLR, Endbericht, Berlin 2009

RENEW (2009b): Renewbility – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Teil 2: Szenario-Prozess und Szenarioergebnisse. Öko-Institut; DLR, Endbericht, Berlin 2009

UBA (2003): CO<sub>2</sub>-Minderung im Verkehr, Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes – Beschreibung von Maßnahmen und Aktualisierung von Potenzialen, Berlin 2003

### Summary

## Can mobility meet climate protection needs?

Within the framework of the research project “Renewbility”, a climate protection scenario has been devised in collaboration with a range of companies. The measures envisaged involve the expansion of the ÖPNV (local public transport) network, electromobility, and adjustments to CO<sub>2</sub> marginal values for private motor cars leading up to increases in road user charges for heavy vehicles and to higher fuel costs. A decrease in CO<sub>2</sub> emission of twenty-three per cent by the year 2030 appears to be possible notwithstanding any similar growth in traffic as per the basic scenario. Any reductions in emission are closely linked to ambitious transport policy-related measures. It is against the background of the call for climate protection that questions should be asked about any further – or any more wide-ranging – measures, which need to be adopted in order to meet the federal government target of a forty per cent reduction in greenhouse gas emission by the year 2020. The object composition that has been developed in connection with the “Renewbility” project, offers a way of analyzing appropriate measures and of highlighting chances of further reductions in emission.



## Verkehrsgeschichte pur, aktuell wie eh und je!

**Kurz + Kritisch**, Gesammelte Editorials 1990 – 2009 von Gerd Aberle.

Prof. Dr. rer. pol. Dr. h. c. Gerd Aberle hat die Verkehrswissenschaft in Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten geprägt. Kein anderer hatte so umfassend wie er alle Verkehrsträger und alle Bereiche des Personen- und Güterverkehrs im Blickwinkel.

Anlässlich seines Ausscheidens als Herausgeber und Chefredakteur hat der Verlag seine Editorials in dem vorliegenden Buch zusammengefasst.

Weitere Informationen finden Sie unter [www.eurailpress.de/kk](http://www.eurailpress.de/kk)

### Technische Daten:

**Titel:** Kurz+Kritisch, ISBN 978-3-87154-409-5, Format 170 x 240 mm

**Preis:** € 19,50,- inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten